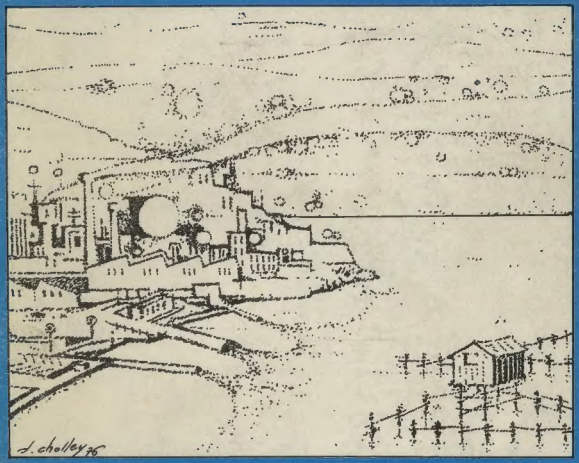
R 3966

ISSN 0397.765 X

# HALIOTIS

Museum




1976
Vol. 7

## ECOPHYSIOLOGIE DES MOLLUSQUES MARINS ET D'EAUX SAUMATRES

## IMPACT DES POLLUTIONS

Observatoire de la mer
(Fondation scientifique Ricard)

Ile des Embiez - Var - Septembre 1976

Publié par la Société Française de malacologie

BIBLIOTHEQUE

# SOCIETE FRANÇAISE DE MALACOLOGIE

**fondée en 1969**

Siège Social : 55, rue de Buffon - 75005 Paris
Tél. : 331.38.95

## CONSEIL D'ADMINISTRATION (1976)

*Président :* N. VICENTE, Laboratoire de Biologie marine, faculté des sciences et techniques Saint-Jérôme - 13013 Marseille.

*Vice-Président :* J.-C. FISCHER, Museum d'histoire naturelle, 55, rue de Buffon - 75005 Paris.

*Secrétaire général :* H. CHEVALLIER, département de Malacologie du Museum d'histoire naturelle, 55, rue de Buffon - 75005 Paris.

*Secrétaire adjointe :* M[lle] A.-M. TESTUD, département de Malacologie du Museum d'histoire naturelle, 55, rue de Buffon - 75005 Paris.

*Trésorier :* P. LE GALL, Laboratoire de Biologie marine - 14530 Luc-sur-Mer.

*Autres Membres du Conseil :* J.-P. HEROLD (Besançon) ; M[me] A. LAURIAT-RAGE (Paris) ; P. LUBET (Caen) ; A. LUCAS (Brest) ; A. RICHARD Paris ; B. SALVAT (Paris) ; W. STREIFF (Caen).

*Membres étrangers* invités à siéger au Conseil en 1976 : E. BINDER (Suisse) ; J.-J. VAN MOL (Belgique) ; Babio RODRIGUEZ-GARCIA, Galicia (Espagne).

La Société française de Malacologie a été fondée le 29 janvier 1969. Elle a pour but d'encourager et de développer toute étude concernant les Mollusques actuels et fossiles, de faciliter les relations entre les malacologistes et de les documenter sur les recherces en cours dans les différents laboratoires de France ou d'autres pays. L'association est dirigée par un conseil d'administration de douze membres élus pour trois années par l'assemblée générale ordinaire.

Les demandes d'adhésion sont ratifiées par le conseil d'administration ; aucune condition particulière n'est exigée pour être membre, personne physique ou morale. Le montant annuel de la cotisation est de 50 F pour les personnes physiques (non étudiants), de 30 F pour les étudiants et de 100 F pour les personnes morales (laboratoires, bibliothèques, librairies, sociétés...). Il est payable par mandat ou chèque à l'ordre de la « Société française de Malacologie », 55, rue de Buffon - 75005 Paris (C.C.P. : 30 387 66 - La Source).

Chaque membre de la société reçoit : 1° la revue *Haliotis*, 1 volume de (1 ou 2 numéros, séparés ou reliés, par an) ; 2° le bulletin *Elona* (1 numéro par an) ; 3° des circulaires d'informations ; 4° des circulaires bibliographiques (travaux malacologiques reçus au siège social de la société).

Toute demande d'adhésion ou de renseignements doit être adressée au secrétariat de la société.

*Directeur de la publication :* Le président de la S.F.M.

*Comité de rédaction :* le Conseil de la S.F.M. et les membres étrangers invités au Conseil.

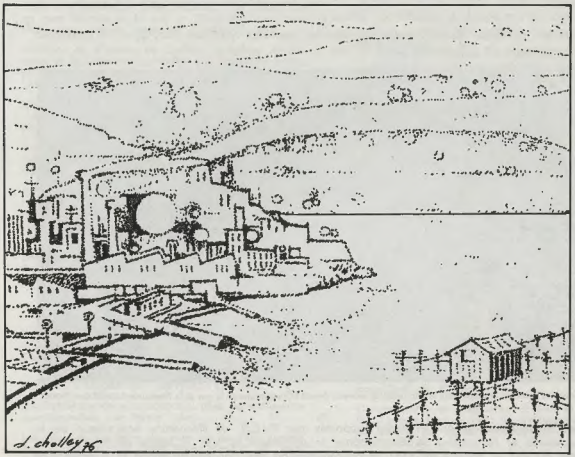
*Secrétaire de rédaction et gérant :* N. VICENTE.

Imprimerie Spéciale Paul Ricard - Signes (Var) Dépôt légal : 2[e] trimestre 1978.

R 3966

ISSN 0397.765 X

# HALIOTIS



1976
Vol. 7

## ECOPHYSIOLOGIE DES MOLLUSQUES MARINS ET D'EAUX SAUMATRES

## IMPACT DES POLLUTIONS

**Observatoire de la mer**
**(Fondation scientifique Ricard)**

**Ile des Embiez - Var - Septembre 1976**

**Publié par la Société Française de malacologie**

BIBL. DU MUSEUM

# ADRESSE DU PRESIDENT

*Ce colloque d'Ecophysiologie des Mollusques marins et d'eaux saumâtres, organisé pour la première fois de son histoire à l'Observatoire de la mer, confirme tout l'intérêt que porte cette association aux problèmes scientifiques et en particulier à tout ce qui touche le domaine marin et ses atteintes par la pollution.*

*Il m'incombait comme président de la Société française de malacologie pour 1976 et responsable scientifique de l'Observatoire de la mer, d'organiser cette manifestation. Cela a pu être possible grâce à l'aide et au soutien permanent du personnel et des chercheurs de l'Observatoire de la mer à qui je veux rendre hommage à travers son président M. Henry Guillard et son délégué général, le docteur Alain Bombard. Ce soutien va jusqu'à la réalisation du présent numéro de Haliotis, pris en charge par la société RICARD.*

*Pour tout cela, ils doivent être remerciés et nous leur associerons tous ceux qui par leur aide financière et morale ont permis la réussite du colloque :*

*M. Feuilloley, préfet du Var, M. le docteur Baptiste, maire de Six-Fours-Les-Plages, le professeur Chouteau, vice-président de l'Observatoire de la mer.*

**A l'issue du colloque, les participants réunis pour la photographie souvenir devant l'Observatoire de la mer de la Fondation Scientifique Ricard.**

*Les frais du colloque ont été en partie supportés par l'U.E.R. de Recherche scientifique de la faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme, la préfecture du Var, la mairie de Six-Fours, le conseil régional du Var, la société RICARD, le conseil général des Bouches-du-Rhône et la préfecture des Bouches-du-Rhône.*

*Il est bien évident que durant quatre jours, il a été difficile de faire le tour des problèmes qui se posent dans le vaste domaine de l'Ecophysiologie des Mollusques marins et des eaux saumâtres et de l'impact des pollutions sur ces animaux. Mais cependant grâce à l'apport scientifique des spécialistes français de ces problèmes et des invités étrangers de marque qui ont pour noms : le professeur A. Hamoui, président de la Commission océanographique syrienne, le professeur P. Korringa, directeur de l'Institut des pêches néerlandais, le professeur J. Winter de l'Institut de recherches maritimes de Brême, le docteur E. Pascual de l'Institut de recherches pour les pêches de Cadix et, enfin, le professeur J.-J. Van-Mol de l'Université libre de Bruxelles ; grâce à tous il a été possible de faire le point sur de nombreuses questions concernant les rapports des Mollusques avec leur milieu et l'action de celui-ci sur le fonctionnement, les adaptations et les dérèglements de leur organisme et de ses divers systèmes. Et puis, à une époque où la pollution laisse de plus en plus son empreinte néfaste sur la nature et dans le milieu marin plus que partout ailleurs, il s'est avéré indispensable de considérer l'impact de ces nuisances sur des animaux particulièrement vulnérables et dont la contamination peut avoir des conséquences redoutables pour les chaînes alimentaires marines, et pour l'homme* a fortiori.

N. VICENTE

# SOMMAIRE


**Adresse du président, par Nardo Vicente** ..... 2

**Programme** ..... 4

**Participants** ..... 7

THEME 1 : ECOLOGIE FAUNISTIQUE

Abra alba **(mollusque lamellibranche) : sa localisation en zone littorale de la mer du Nord, par Jean-Marie Dewarumez, Francis Smigielski et Alain Richard** .... 13

**Influence de la nature de l'habitat du rythme nycthéméral et de la thermohygrométrie sur l'excrétion azotée de** Littorina littorea **(L.) adulte (mollusque gastéropode** Littorinidae), **par Jacques Daguzan** ..... 20

**Modification de la croissance et du comportement de** Venerupis aurea **parasité par** Gymnophallus fossarum, **par Pierre Bartoli, 1965** (Trematoda, Digenea) ..... 23

**Répartition géographique des femelles à tractus génital mâle externe chez** Ocenebra erinacea (L.) **espèce gonochorique, par Colette Féral** ..... 29

**Recherches des paramètres écologiques favorables à l'existence du gastéropode opisthobranche** Acochlidiacea platyhedyle **Salvini - Plawen 1973 dans les sédiments marins des environs de Marseille (France), par Claude Poizat** ..... 31

**Etude de gastéropodes nudibranches de la lagune du Brusc (Var).**

**I. - Influence des facteurs du milieu sur la biologie de trois espèces de nudibranches :** Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana, Favorinus branchialis, **par Alain Riva et Nardo Vicente** ..... 39

**Observations écologiques et biologiques sur le** Volutidae antarctique Harpovoluta charcoti **(Lamy, 1910)** Gastropoda prosobranchia, **par Patrick M. Arnaud** .. 44

THEME 2 : SEXUALITE - DEVELOPPEMENT

**Ecophysiologie de la reproduction chez les mollusques lamellibranches, par Pierre Lubet** ..... 49

**Les effets de l'agitation des eaux sur les états sexuels de** Littorina saxatilis **(Olivi) Rudis (Maton), par Jean-Claude Moreteau** ..... 56

**Tissu de réserve et cycle sexuel chez les lamellibranches, par P. Lubet, P. Herlin, M. Mathieu et F. Collin** ..... 59

**Influence de la température sur la ponte et le développement embryonnaire de deux mollusques gastéropodes prosobranches** Polinices alderi **(Forbes) et** Nassarius pygmaeus **(Lamarck), par A. Bodoy et H. Massé** .... 63

**Effets du groupement et du volume disponible sur la sexualité du mollusque nudibranche** Eurobranchus doirae **(Trinchese 1879), par J. Tardy et M. Dufresne** 66

THEME 3 : ALIMENTATION - CROISSANCE

**A critical Review on some aspects of filterfeeding in lamellibrachiate bivalves, par Jürgens E. Winter** .... 71

**Etude de la croissance et de la longévité de quelques gastéropodes du littoral de Normandie, par Arnaud Souplet** ..... 88

**Utilisation des eaux résiduaires pour la production de phytoplancton, par Roger Faveris et Pierre Lubet** .. 93

**Importance des bactéries chez les mollusques bivalves, par Yvan Martin** ..... 97

**Relations entre croissance de bivalves et phytoplancton en lagune et bassin fermé, par Patrick Lelong et Alain Riva** ..... 104

**Etude de gastéropodes nudibranches de la lagune du Brusc (Var).**

**II. - Rapports trophiques entre les nudibranches** Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana **et un anthozoaire** Parastephanange pauxi, **par Alain Riva et Nardo Vicente** ..... 112

**Etude de gastéropodes nudibranches de la lagune du Brusc (Var).**

**III. - Observations d'algues symbiotiques dans l'organisme de** Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana et Favorinus branchialis, **par Alain Riva et Nardo Vicente** ..... 116

THEME 4 : NUISANCES ET POLLUTIONS

**Aspects physiologiques et écologiques des contaminations des mollusques pelecopodes par des radionucléides et autres éléments à l'état de traces, par M. Masson et I. Ancellin** ..... 123

**Etude expérimentale de l'influence de la température sur la survie de mollusques bivalves marins endogés, par A. Bodoy et H. Massé** ..... 131

**Influence de la chloration et du choc thermique sur les larves de moules dans les circuits d'eau, par Didier Bucaille et Ny Kim** ..... 133

**La pollution des mers et le devenir de l'industrie coquillière, par P. Korringa** ..... 135

**Concentrations en pesticides (P.C.B. et résidus de D.D.T.) dans l'eau et dans les mollusques de la zone des Embiez, par Pierre Escoubet, Jean-Louis Monod et Nardo Vicente** ..... 141

**Influence d'un hydrocarbure pur, le N-Décane sur la croissance, la respiration et l'activité motrice de larves de** Mytilus edulis **(L.), par Sylvie Leroux** ..... 144

**Corrélation entre la quantité de polluants accumulés dans le corps et la taille de quelques mollusques lamellibranches, par Adel Hamoui** ..... 147

**Effets de la contamination de** Cerastoderma glaucum **Poiret (mollusque bivalve) par un sel de mercure, par Pierre Escoubet et Nardo Vicente** ..... 151

**La pathologie humaine chez les mollusques, par Alain Bombard** ..... 156

**Utilisation du kimographe pour l'étude des effets de la pollution sur les coquillages, par Emilio Pascual** .. 159

**Teneur en métaux dans certains organismes marins prélevés sur le littoral calaisien, par Olivier Rogues** .... 161

**Déclaration d'inquiétude sur les effets actuels et futurs des pollutions en milieu marin** ..... 165

# PROGRAMME

## LUNDI 13 SEPTEMBRE

### Matin : Séance inaugurale

Allocutions de bienvenue de M. Henry GUILLARD, président de la Fondation scientifique Ricard, du Pr Jacques CHOUTEAU, vice-président, du Dr Alain BOMBARD, délégué général, du Dr Antoine BAPTISTE, maire de Six-Fours-Les-Plages, et du Pr Nardo VICENTE, président de la Société française de Malacologie.

### Après-Midi : Communications

**THEME 1 : ECOLOGIE - FAUNISTIQUE**

Président de séance : J.-J. VAN MOLL (Faculté libre de Bruxelles).

A. RICHARD, J.-M. DEWARUMEZ et F. SMIGIELMSI
Maîtres de conférences et chercheurs
Institut de Biologie maritime - Wimereux-Lille
— Localisation en mer du Nord du lamellibranche *Abra alba*.

J. DAGUZAN
Docteur ès sciences
Faculté des sciences biologiques, Rennes
— Influence de la nature de l'habitat, du rythme nycthéméral et de la thermohygrométrie sur l'excrétion azotée de *Littorina littorea* Linné adulte (mollusque Mesogastéropode, Littorinidae).

P. BARTOLI
Docteur ès sciences
Faculté des sciences, Marseille
— Modification de la croissance et du comportement de *Venerupis aurea* (mollusque lamellibranche) parasité par *Gymnophallus fossarum* (BARTOLI 1965) (Trematoda, Digenea).

Colette FERAL
Stagiaire de recherche au C.N.R.S. et Muséum d'Histoire naturelle, Paris
— Répartition biogéographique des femelles à tractus génital mâle externe chez *Ocenebra erinacea*.

C. POIZAT
Docteur 3e cycle en biologie marine
Faculté des sciences, Marseille
— Recherche des paramètres écologiques favorables à l'existence du Gastropode Opisthobranche Acochlidiacé : *Platyhedyle* Salvini-Plawen 1973, dans des sédiments marins des environs de Marseille.

A. RIVA, stagiaire de recherche,
N. VICENTE, professeur
Faculté des sciences, Marseille, et Fondation scientifique Ricard
— I - Influence des facteurs du milieu sur la biologie de trois espèces de Nudibranches de la lagune du Brusc : *Aeolidiella alderi*, *Favorinus branchialis* et *Spurilla neapolitana*.

P. ARNAUD
Chargé de recherche au C.N.R.S.
Station marine d'Endoume, Marseille
— Observations écologiques et biologiques sur le Volutidae antarctique *Harpovoluta charcoti* (LAMY, 1910) (Gastropoda Prosobranchia).

Discussion générale

## MARDI 14 SEPTEMBRE

### Matin :

**THEME 2 : SEXUALITE - DEVELOPPEMENT**

Président de séance : J. TARDY (Institut universitaire de technologie, La Rochelle).

**Rapport**

P. LUBET
Directeur du laboratoire de Zoologie
Faculté des sciences de Caen
— Ecophysiologie de la reproduction chez les mollusques lamellibranches.

**Communications**

J.-C. MORETEAU
Assistant
Laboratoire de Zoologie,
Université Paris-Sud Orsay
— Les effets de l'agitation des eaux sur les états sexuels de *Littorina saxatilis* OLIVI rudis (MATON).

P. LUBET, M. MATHIEU, F. MERLIN et F. COLLIN
Professeur et chercheurs
Faculté des sciences de Caen
— Tissu de réserve et cycle sexuel chez les Lamellibranches.

A. BODOY et H. MASSE
Chercheurs
Station marine d'Endoume, Marseille
— Influence de la température sur la ponte et le développement embryonnaire de deux Mollusques Gastéropodes prosobranches : *Lunatia alderi* (FORBES) et *Minia varicosa* (TURTON).

J. TARDY, maître de conférences,
DUFRENNE, docteur ès sciences
Institut universitaire de technologie, La Rochelle

Effet du groupement et du volume disponible sur la sexualité du Mollusque nudibranche. *Eubranchus doriae* (Trinchese 1879).

**Après-Midi :**

**THEME 3 : ALIMENTATION - CROISSANCE**

Président de séance : P. LUBET (Professeur à la faculté des sciences de Caen).

**Rapport**

J.-E. WINTER
Professeur
Institut für Meeresforschung,Brème (R.F.A.)

L'alimentation, la digestion et la croissance chez les Bivalves filtreurs et leur importance écologique dans les écosystèmes marins.

**Communications**

A. SOUPLET
Chercheur
Institut de Biologie maritime, Wimereux, Lille

Etude de la croissance de quelques espèces de Gastéropodes du littoral de Normandie.

R. FAVERIS
Chercheur
Faculté des sciences de Caen

Utilisation des eaux résiduaires pour la production du phytoplancton.

Y. MARTIN
Assistant de recherche
Fondation scientifique Ricard

Importance des bactéries chez les Mollusques Bivalves.

P. LELONG et A. RIVA
Stagiaires de recherches
Fondation scientifique Ricard

Alimentation et croissance de Bivalves.

A. RIVA et N. VICENTE
Faculté des sciences, Marseille,
et Fondation scientifique Ricard

II - Rapports trophiques entre les Nudibranches : *Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana* et un Anthozoaire de la lagune du Brusc.

A. RIVA et N. VICENTE
Faculté des sciences, Marseille,
et Fondation scientifique Ricard

III - Observations d'algues symbiotiques dans l'organisme de trois Nudibranches de la lagune du Brusc : *Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana* et *Favorinus branchialis*.

**Réception à la mairie de Six-Fours-Les-Plages :**

**MERCREDI 15 SEPTEMBRE**

**Matin :**

**THEME 4 : NUISANCES ET POLLUTIONS**

Président de séance : Dr KORRINGA (Directeur de l'Institut néerlandais de recherches sur la pêche, Ijmuiden : Pays-Bas).

**Rapport**

M. MASSON, J. ANCELLIN
Docteurs en Biologie animale
Commissariat à l'énergie atomique
La Hague (Manche)

Aspects physiologiques et écologiques des contaminations de Mollusques Pelecypodes par des radio-nucléides et autres éléments à l'état de traces.

**Communications**

A. BODOY, H. MASSE
Chercheurs
Station marine d'Endoume, Marseille

Etude expérimentale de l'influence de la température sur la survie des Mollusques bivalves marins endogés.

D. BUCAILLE, KIM NY et F. MULLER FEUGA
Chercheurs
Faculté des sciences de Caen

Influence de la chloration et du choc thermique sur les larves de moules dans les circuits d'eau.

**Après-Midi :**

Président de séance : E. PASCUAL (Instituto de investigaciones pesqueras, Cadix - Espagne).

**Rapport**

KORRINGA
Directeur Institut néerlandais de recherches
sur la pêche, Ijmuiden (Pays-Bas)

Impact des pollutions et avenir de la Conchyliculture mondiale.

**Communications**

P. ESCOUBET, MONOD, assistants de recherches, N. VICENTE, professeur, Faculté de pharmacie, Marseille et Fondation scientifique Ricard

Concentration en pesticides (PCB et résidus de DDT) dans l'eau et dans les mollusques de la zone des Embiez (Var-France).

S. LEROUX
Chercheur
Faculté des sciences de Brest

Influence d'un hydrocarbure pur (N. Décane) sur la croissance, la respiration et le comportement des larves de *Mytilus sp.*

A. HAMOUI
Professeur de zoologie
Université de Damas (Syrie)

Corrélation entre la quantité de polluants accumulés dans le corps et la taille de quelques Mollusques lamellibranches.

P. ESCOUBET, N. VICENTE
Fondation scientifique Ricard

Effets de la pollution sur les Mollusques marins et d'eaux saumâtres.

**Discussion Générale :**

**JEUDI 16 SEPTEMBRE**

**Matin :**

**THEME 4 (SUITE)**

Président de séance : A. HAMOUI (Professeur de zoologie à l'université de Damas - Syrie).

A. BOMBARD
Biologiste
Fondation scientifique Ricard

Effets de la pollution par les métaux lourds sur les Mollusques marins et d'eaux saumâtres.

E. PASCUAL
Docteur ès sciences
Instituto de Investigaciones, Pesqueras, Cadiz (Espagne)

Utilisation du Kimographe pour l'étude des effets de la pollution sur les coquillages.

O. ROGUES
Société Tioxide, Calais

Teneurs en métaux dans certains organismes marins prélevés sur le littoral calaisien.

**Après-Midi :**

**Visite de l'Observatoire de la mer et de ses installations.**
**Réunion du Conseil d'Administration de la Société Française de Malacologie.**
**Visite du Circuit Automobile Paul RICARD.**
**Visite de l'île de BENDOR et dîner de clôture.**

**VENDREDI 17 SEPTEMBRE**

**Excursion à Port-Cros.**

# PARTICIPANTS

| | |
|---|---|
| ANCELLIN Jacques | Docteur vétérinaire<br>Laboratoire de Radioécologie marine C.E.A.<br>50107 La Hague |
| ARCHAMBAULT-GOUEZOU Joëlle | Laboratoire de Paléontologie<br>Bât. 504 Université de Paris II-Sud<br>91405 Orsay |
| ARNAUD Patrick | Chargé de recherche du C.N.R.S.<br>Station marine d'Endoume<br>Rue Batterie-des-Lions<br>13007 Marseille |
| BARTOLI Pierre | Docteur ès sciences<br>Laboratoire de zoologie marine<br>Faculté des sciences et techniques Saint-Jérôme<br>Traverse de la Barasse<br>13397 Marseille cedex 4 |
| BOMBARD Alain | Délégué Général Observatoire de la mer<br>Fondation Scientifique Ricard<br>Ile des Embiez<br>83140 Six-Fours-Les-Plages |
| BUCAILLE Didier | Laboratoire de zoologie<br>Esplanade de la Paix<br>14000 Caen |
| BUCHER ILLANES Juan | Ingénieur en pêcheries<br>1021, boulevard de Belles-Portes, Apt. 488<br>14000 Henouville-Saint-Clair |
| BRUGERE | Institut national de la recherche agronomique<br>78000 Versailles |
| CHEVALLIER Henry | Maître assistant<br>Département de Malacologie du Muséum<br>55, rue de Buffon<br>75005 Paris |
| COLLIN Françoise | 1, rue des Champs<br>50550 Saint-Vaast-La-Hougue |
| DAGUZAN Jacques | Docteur ès sciences<br>Laboratoire de zoologie générale et d'Ecophysiologie<br>Faculté des sciences biologiques<br>Université de Rennes<br>Avenue Général-Leclerc<br>35000 Rennes |
| DESVERGEE Anne | Technicienne supérieure<br>13, rue d'Isamberville G.O.M.<br>50550 Saint-Vaast-La-Hougue |
| DEWARUMEZ J.-Marie | Chercheur<br>71, rue Aristide-Briand<br>Apt 15<br>62200 Boulogne-sur-Mer |
| ESCOUBET Pierre | Assistant scientifique<br>Observatoire de la mer<br>Fondation scientifique Ricard<br>Ile des Embiez<br>83140 Six-Fours-Les-Plages |
| FAVERIS Roger | Laboratoire de zoologie<br>Esplanade de la Paix<br>14000 Caen |
| FERAL Colette | Stagiaire de recherche au C.N.R.S.<br>Laboratoire d'endocrinologie et d'embryologie expérimentales<br>U.E.R. sciences de la vie<br>Université<br>14032 Caen cedex |
| FEUILLET Michelle | Chargée de recherches<br>Institut scientifique et technique des pêches maritimes<br>74, allées du Mail<br>17000 La Rochelle |

| | |
|---|---|
| GREGOIRE Alain | Chercheur<br>Institut de biologie maritime et régionale<br>Avenue Foch<br>62930 Wimereux |
| HAMOUI Adel | Professeur de zoologie<br>Département de zoologie<br>Faculté des sciences<br>Université de Damas<br>Damas (Syrie) |
| HIS Edouard | Chargé de recherches<br>Institut scientifique et technique des pêches maritimes<br>63, boulevard De Jannes<br>33120 Arcachon |
| KIM Ny | Laboratoire de zoologie<br>Esplanade de la Paix<br>14000 Caen |
| KORRINGA P. | Professeur<br>Directeur de l'Institut néerlandais pour les recherches concernant la pêche<br>Haringkade 1, Postbus 68<br>Ijmuiden - 1620 (Pays-Bas) |
| LAPIERRE | Maître assistant<br>Muséum d'histoire naturelle<br>55, rue de Buffon<br>75005 Paris |
| LELONG Patrick | Faculté des sciences de Luminy<br>Fondation scientifique Ricard- Observatoire de la mer<br>Ile des Embiez<br>83140 Six-Fours-Les-Plages |
| LEROUX Sylvie | Chercheur<br>Université de Bretagne occidentale<br>Laboratoire de zoologie, aquaculture et pollutions marines<br>6, avenue le Gorgeu<br>29283 Brest cedex |
| LUBET Pierre | Professeur<br>Directeur du Laboratoire de zoologie<br>Directeur du Laboratoire maritime<br>Université de Caen<br>Laboratoire de zoologie U.E.R. des sciences de la vie<br>Université de Caen<br>14032 Caen |
| MARTIN Yvan | Assistant scientifique<br>Observatoire de la mer<br>Fondation scientifique Ricard<br>Ile des Embiez<br>83140 Six-Fours-Les-Plages |
| MASSE Henri | Chargé de recherches au C.N.R.S.<br>Station marine d'Endoume<br>Rue de la Batterie-des-Lions<br>13007 Marseille |
| MASSON Michel | Docteur en biologie animale<br>Laboratoire de radioécologie marine<br>Service d'études et de recherches sur l'environnement<br>Commissariat à l'énergie atomique<br>50107 La Hague |
| MATHIEU Michel | Assistant<br>Laboratoire de biologie marine<br>14530 Luc-sur-Mer |
| MORETEAU J.-Claude | Assistant<br>Université Paris-Sud Centre d'Orsay<br>Laboratoire de zoologie bât. 442<br>91405 Orsay |
| PASCUAL Emilio | Doctor en ciencias biologicas<br>Instituto de investigaciones pesqueras<br>Puerto pesquero<br>Cadiz (Espagne) |

PETITJEAN Michel
1 A, rue Antoine-Richard
78000 Versailles

POIZAT Claude
Docteur 3e cycle, assistant
Laboratoire de biologie marine
Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme
13013 Marseille

POUVREAU Bertrand
Chercheur C.N.E.X.O.
Laboratoire maritime
14530 Luc-sur-Mer

REAL Guy
Institut scientifique et technique des pêches maritimes
40, allée des Dunes
33120 Arcachon

RICHARD Alain
Maître de conférences
Institut de biologie maritime
BP 41
62930 Wimereux

RIVA Alain
Faculté des sciences de Saint-Jérôme
Fondation Scientifique Ricard - Observatoire de la mer
Ile des Embiez
83140 Six-Fours-Les-Plages

ROGUES
Ingénieur chimiste
Tioxide S.A
62102 Calais

SAUBADE Anne-Marie
Docteur ès sciences
Chargée de recherches au C.N.R.S.
207, avenue Président-Robert-Schuman
33110 Le Bouscat

SILBERZAHN Nadine
Docteur en biologie
Maître assistante
Laboratoire de zoologie (groupe d'endocrinologie sexuelle comparée)
Esplanade de la Paix
14032 Caen cedex

SMIGIELSKI Francis
Maître ès sciences, chercheur
Institut de biologie maritime et régionale
62930 Wimereux

SOUPLET Arnaud
Chercheur
Institut de biologie maritime
BP 41
62930 Wimereux

TARDY Jean
Docteur ès sciences, Maître de conférences
Laboratoire de biologie et biochimie marines
I.U.T. La Rochelle
17026 La Rochelle cedex

TESTUD Anne-Marie
Assistante
Laboratoire de biologie des invertébrés marins, malacologie
55, rue de Buffon
75005 Paris

VAN MOL J.-Jacques
Docteur en sciences écologiques
Chargé de cours
Laboratoire de zoologie
Faculté des sciences
Université libre de Bruxelles
1050 Bruxelles (Belgique)

VICENTE Nardo
Professeur
Faculté des sciences Saint-Jérôme
Observatoire de la mer
Fondation scientifique Ricard
Ile des Embiez
83140 Six-Fours-Les-Plages

WINTER Jürgen
Professeur
Institut Für Meeresforschung
285 Bremerhaven - G
Am. Handeshofen 12
République Fédérale d'Allemagne

# THEME 1
# ECOLOGIE - FAUNISTIQUE

# *Abra Alba* (mollusque lamellibranche) sa localisation en zone littorale de la mer du Nord

*par Jean-Marie DEWARUMEZ*, Francis SMIGIELSKI* et Alain RICHARD***

* Institut de Biologie maritime et régionale, avenue Foch - 62930 Wimereux

** Université de Lille I, Laboratoire de biologie et écologie marines, SN3, B P. 36 - 59650 Villeneuve-d Ascq

## RÉSUMÉ

*Abra alba* est très abondant dans la zone littorale de la mer du Nord. Sa densité paraît directement liée à la présence d'une fraction vaseuse dans les sédiments dont l'hétérogénéité va du sable coquillier à la vase pure. La richesse des apports organiques sur cette côte urbanisée permet le développement d'une population d'*Abra* à génération annuelle et dont la durée de vie serait de 3 ans ; la croissance linéaire théorique pouvant s'exprimer par une équation du type Gompertz.

Les sédiments littoraux fins soumis aux rejets industriels se chargent en éléments métalliques, ce qui ne semble pas nuire à la croissance d'*Abra*. Il convient cependant de prendre en compte les effets de cette éventuelle contamination au niveau des filets (Poissons plats : *Flesus flesus*) qui se nourrissent presque exclusivement d'*Abra* dans les zones d'abondance de ce Lamellibranche.

## SUMMARY

*Abra alba* is very abundant along the french coast from Calais to Dunkerque. The density seems bound to the presence of a muddy part in the sediments. This can be shelly sand, muddy sand or pure sludge. On this coast, many industrial wastes allow the installation of a population of *Abra alba* with an annual generation and a life-span of three years. The linear theoric growth can be given by an equation of Gompertz.

The coastal thin sediments lying by industrial wastes amass metals which does not seem to be prejudicial to the growth of *Abra alba*. Nevertheless it is advisable to take the effects of this eventual contamination into account, for the flounders (Flat fish: *Flesus flesus*) which almost only eat *Abra* in the areas of abundance of this Lamellibranch

Des dragages effectués de 1973 à 1976* dans la zone littorale de la Manche orientale (entre l'embouchure de la Canche et le cap Gris-Nez) et le long de la côte de la Mer du Nord (de Calais à Dunkerque) nous ont permis de préciser la localisation du Lamellibranche *Abra alba* Wood.

### Matériel et méthodes

Les prélèvements sont effectués au moyen d'une drague Rallier du Baty. Les *Abra alba* récoltés après tamisages successifs (1 cm, 1 mm) de 30 litres de sédiments sont fixés au formol neutralisé. L'étude biométrique qui a ensuite été réalisée a porté sur un échantillonnage de 5 450 individus dont les coquilles ont été mesurées (longueur) au pied à coulisse au 1/10 de mm.

### I. DONNEES ECOLOGIQUES.

Près de l'embouchure de la Canche (Fig. 1), plages du Touquet, Dannes, Camiers, les *Abra* ont été retrouvés en faible nombre dans la zone littorale de sable fin légèrement envasé (étage infralittoral), ce qui confirme la constance du peuplement à *Donax vittatus* Da Costa et *Abra alba* décrit par Cabioch et Glaçon (1975). Plus au nord (cap Gris-Nez) avec le resserrement du détroit, la sédimentation est fortement affectée par les conditions hydrodynamiques : les courants de marée violents ne laissent subsister que des dalles rocheuses et des sédiments grossiers où ce peuplement fait pratiquement défaut. Par contre, on le retrouve de manière très nette au nord-est de Calais (Fig. 1).

Le peuplement à *Abra alba* caractérise alors cette zone littorale (fonds de 2 à 15 m**) limitée vers le large par les bancs côtiers. On y retrouve les espèces citées par Petersen (1918) et Eisma (1966) pour la mer du Nord et par Cabioch (1968) pour la Manche occidentale. 92 espèces ont ainsi été recensées dans ce peuplement (Dewarumez, 1976). Citons simplement parmi les espèces préférantes :

— les espèces constantes : *Abra alba*, *Phyllodoce mucosa* Oersted, *Nephthys hombergii* Savigny et *Nephthys cirrosa* Ehlers.

* Ce travail a bénéficié des aides financières apportées en 1973 par Electricité de France (GECTN 73 : F41/DS2-8417), par le Centre national pour l'exploitation des océans pour des études d'avant-projet et de projet demandées par E.D.F./R.E P. dans le cadre de ses études d'environnement préalables à l'implantation de centrales nucléaires (Contrats 74/1124 - 75/5238) et par ADRINORD (75/76)

** Des Abra alba ont été récoltés également sur l'estran en 1974

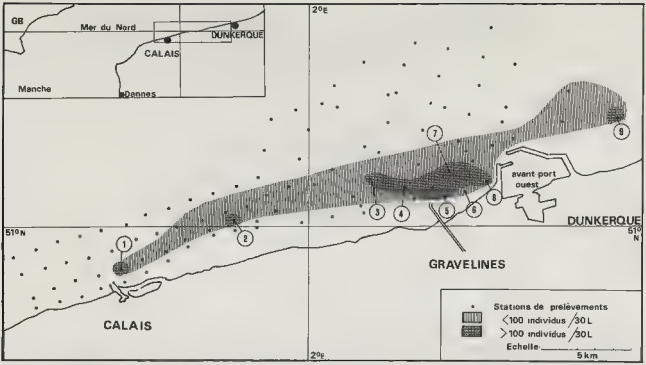



**Fig. 1 — Localisation d'**Abra alba **sur le littoral de la Mer du Nord (Calais-Dunkerque). 1 à 9 : stations de dragages : tableau II.**

— et les espèces communes : *Notomastus latericeus* Sars, *Tellina fabula* Gmelin, *Spiophanes bombyx* Claparède et *Batyporeia elegans* Watkin

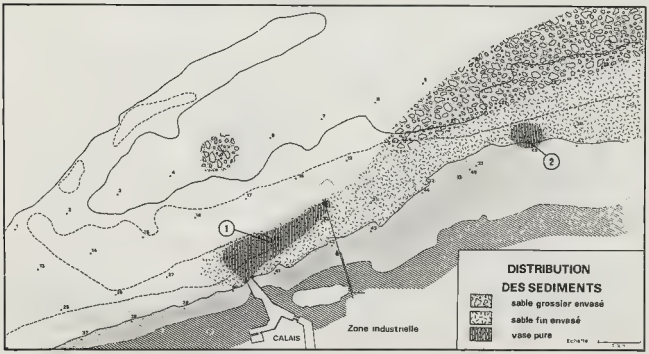
*Abra alba* apparaît en transition avec les sédiments grossiers dès que les courants permettent une sédimentation plus fine. On la trouve ainsi dans des biotopes variés allant des sédiments grossiers à nombreux galets, à "l'hétérogène envasé", dans des sables fins vaseux et dans la vase pure (Fig. 2 et 3).

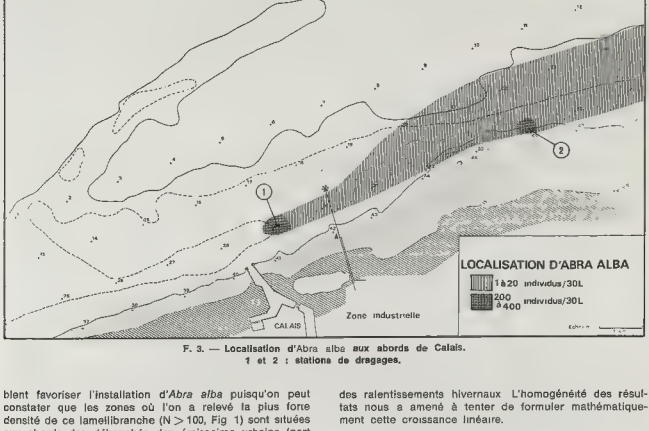
Cette diversité n'est pas pour surprendre puisque cette espèce est citée comme tolérante au triage granulométrique sur les côtes atlantiques de Bretagne (Glémarec, 1964-1965) et Guille (1971), en mer catalane, fait les mêmes observations et la qualifie de "sabulicole tolérante".

On doit noter cependant que les zones de plus forte densité d'*Abra* sur le littoral de Calais-Dunkerque (stations 1 - 2 et 9, Fig. 1, 2 et 3) sont situées sur des fonds de vase pure, ce qui confirmerait l'opinion de Picard (1965), qui considère cette espèce en Méditerranée comme "vasicole tolérante".

Les caractéristiques littorales de ce rivage sont très accentuées : les eaux y sont très chargées en matières en suspension et les sels nutritifs dissous y abondent toute l'année (Tableau I). Ces caractères néritiques sem-

**Fig. 2 — Distribution des sédiments aux abords de Calais. 1 et 2 : stations de dragage.**






**F. 3. — Localisation d'**Abra alba **aux abords de Calais. 1 et 2 : stations de dragages.**

blent favoriser l'installation d'*Abra alba* puisqu'on peut constater que les zones où l'on a relevé la plus forte densité de ce lamellibranche (N > 100, Fig 1) sont situées aux abords des débouchés des émissaires urbains (port de Calais et Gravelines : canal de l'Aa)

L'éthologie alimentaire de cette espèce (Hughes, 1975) justifie cette localisation préférentielle dans des zones vaseuses riches en matières organiques puisque, selon cet auteur, les siphons inhalants filtrent ou prélèvent de manière sélective sur le sédiment les particules d'un diamètre inférieur à 200µ et n'ingèrent, pour l'essentiel, que des particules de 10 à 90 µ environ.

Enfin, il faut signaler, sur ce littoral, la grande instabilité démographique des peuplements d'*Abra*. Indépendamment des aléas d'échantillonnages à la drague et des mouvements de sédiments qui perturbent son biotope, on doit citer les variations d'abondance constatées lors des prélèvements périodiques effectués en de mêmes positions (stations 1 à 9 : Tableau II). En Manche occidentale, Cabioch (1968) a noté également une telle fluctuation, à périodicité sensiblement annuelle, où cette espèce se trouve en balance avec *Corbula gibba* Olivi, tandis que Petersen (1919), qui signale une diminution du stock d'*Abra* en été, sur les côtes danoises, l'attribue à la prédation effectuée par les poissons plats.

## II. ETUDE BIOMETRIQUE : CROISSANCE D'ABRA ALBA.

L'analyse des histogrammes de fréquence de taille semble montrer qu'il n'existe qu'une seule génération par an dont la croissance est esquissée (Fig. 4). La ponte aurait lieu en mars, ce qui confirmerait les observations d'Ansel (1974) qui observe, à Plymouth, des pontes en mars-avril. Aux abords de Gravelines, les récoltes de petits individus benthiques les 9, 10 et 20 mai 1975 semblent prouver que la fixation s'effectue sur notre littoral en mai. Par contre, cette espèce, selon Ansel (1974) se fixerait en juillet-août à Plymouth alors que Muus (1973) considère que c'est en septembre-octobre qu'*Abra alba* gagne les sédiments de l'Oresund (Danemark)

L'observation de la croissance linéaire* moyenne montre des accélérations de croissance printanière et des ralentissements hivernaux L'homogénéité des résultats nous a amené à tenter de formuler mathématiquement cette croissance linéaire.

En utilisant le diagramme de Ford-Walford selon la technique de Beverton et Holt (1957), on peut préciser le type de croissance. Comme les relevés périodiques exprimant la longueur au temps t + u par rapport au temps t, ne s'alignent pas selon une seule droite de

* Le terme « croissance linéaire » est employé ici en opposition au terme croissance pondérale

**Caractéristiques chimiques des eaux du littoral de Calais-Dunkerque sels nutritifs et turbidité : année 1975**

| Paramètres | Valeur minimale | moyenne * | Valeur maximale |
|---|---|---|---|
| Nitrites en solution µAtg N $NO_2$/l $\pm 1 \times 10^{-2}$ | 0,01 | 1,1 | 1,41 |
| Nitrates en solution µAtg N — $NO_3$ — /l $\pm 6 \times 10^{-2}$ | 0,10 | 12,35 | 32,38 |
| Phosphates en solution µAtg P — $PO_4$ — — /l $\pm 1 \times 10^{-2}$ | ε | 0,59 | 3,03 |
| Silicates en solution µAtg Si — $SiO_3$ — /l $\pm \times 10^{-1}$ | ε | 4,25 | 14,5 |
| Turbidité (Matières en suspension mg/l) | 1 | 39,9 | 353** |

* Pour chaque paramètre, la moyenne est calculée avec les valeurs obtenues sur quinze stations prospectées mensuellement à plusieurs niveaux (surface, 5 m .. 10 m) soit sur 250 mesures environ pour l'année 1975.

** Les valeurs des turbidités maximales près du fond ont été établies en tenant compte des prélèvements effectués en bateau ; les maxima des périodes de tempêtes en sont donc exclus

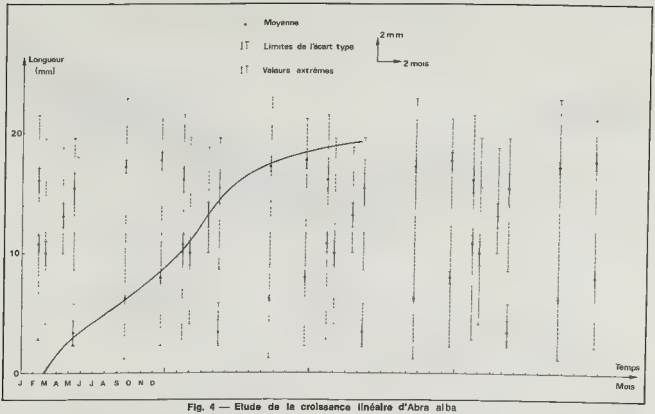



**Fig. 4 — Etude de la croissance linéaire d'**Abra alba

régression (Fig. 5), on peut exclure une formulation du type Von Bertalanffy, couramment utilisée pour les Mollusques (Levêque, 1971).

Les points s'organisent selon deux droites de régression.

1. $y = 1{,}1146 \times + 1{,}0432$
   $r = 0{,}9979$ à 99 % de signification.
2. $y = 0{,}7436 \times + 5{,}1178$
   $r = 0{,}9987$ à 99 % de signification.

Les valeurs très proches de l'unité des coefficients de corrélation (r) attestent de la qualité de cette formulation par équation du premier degré.

Ce type de diagramme de Ford-Walford est significatif d'une croissance du type Gompertz (Richard, 1971).

$$L = C \times a^{b^{kT}}$$

où : C : longueur maximale théorique que peut avoir l'animal,

a et b : constantes calculées pour l'espèce (inférieures à 1),

T : âge exprimé en mois,

k : constante de calcul.

Le diagramme de Ford-Walford permet en effet (Fig. 5) d'estimer la longueur maximale théorique : $C = L\alpha$, que peut atteindre *Abra alba*. Elle serait de 20,2 mm. Nos mesures confirment ce point : sur les 5 450 coquilles d'*Abra*, 2 étaient d'une taille supérieure (21 et 22,5 mm) et 8 étaient égales à 19,5 mm.

L'application de la formule de Gompertz calculée pour cette espèce permet de tracer (Fig. 6) une courbe de croissance théorique.

$$L = 20{,}6\ (0{,}0492^{\,0{,}7484^{\frac{T}{2}}})$$

**Variation de la densité d'**Abra alba
**(individus dénombrés dans 30 litres de sédiments récoltés à la drague Rallier)**

| Stations de dragages (Fig. 1) / Dates des prélèvements (1975) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 février | — | — | 0 | 205 | 2 | 46 | 292 | 18 | 14 |
| 8 mars | — | — | 2 | 147 | 36 | 90 | 3 | 191 | 0 |
| 13 avril | — | — | 24 | 0 | 86 | 0 | 0 | 119 | 0 |
| 9 mai | — | — | 2 | 7 | 16 | 4 | 1 | 61 | 2 |
| 20 mai | — | — | 12 | 19 | 0 | 2 | 18 | 75 | 0 |
| 21 septembre | — | — | 410 | 139 | 129 | 5 | 209 | 1 | 3850 |
| 20 novembre | 780 | 450 | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 décembre | — | — | 45 | 435 | 95 | 16 | 508 | 8 | 1 |

Le décours d'allure sigmoïde exprime assez fidèlement la croissance linéaire moyenne d'*Abra*. Il souligne les variations de croissance saisonnière de cette espèce. On peut considérer, par extrapolation de la courbe et intersection avec la longueur maximale théorique que la durée de vie maximale théorique serait de 34 mois pour cette espèce sur le littoral de Calais à Dunkerque, résultat conforme à celui d'Ansel (1974) pour la Manche occidentale

## III. ACCUMULATION METALLIQUE.

En limitant notre étude au seul littoral de Calais, il faut signaler l'implantation d'industries qui rejettent dans le port et celles d'une zone industrielle dont les eaux de traitement en éléments métalliques sont rejetées par émissaires (Fig. 2, 3, 7 et 8)

Connaissant l'aptitude des Mollusques à capter les éléments métalliques (Bryan, 1971), nous avons recherché les teneurs dans les sédiments benthiques en fer et titane de cette zone.

### Méthodologie

Les carottes de prélèvements ont été effectuées selon une trame régulière comportant 48 stations dont 12 sur l'estran. Pour des commodités d'échantillonnage du sédiment nous n'avons utilisé que la fraction granulométrique inférieure à 400 µ pour doser les métaux

Deux types d'attaques furent nécessaires, d'une part, une attaque nitrique pour extraire le fer adsorbé sur les grains de sédiment, et, d'autre part, une attaque sulfurique (+ sulfate d'ammonium) pour traiter les échantillons en vue de l'étude des teneurs en titane.

Les mesures ont été réalisées sur un spectrophotomètre d'absorption atomique : l'analyse des teneurs en fer, en utilisant la méthode de l'étalon externe alors que, pour le titane, des ajouts doses ont été nécessaires pour chaque échantillon. Une analyse de variance a vérifié l'homogénéité des résultats.

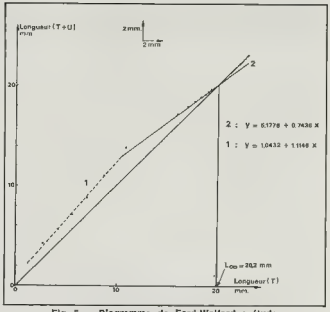
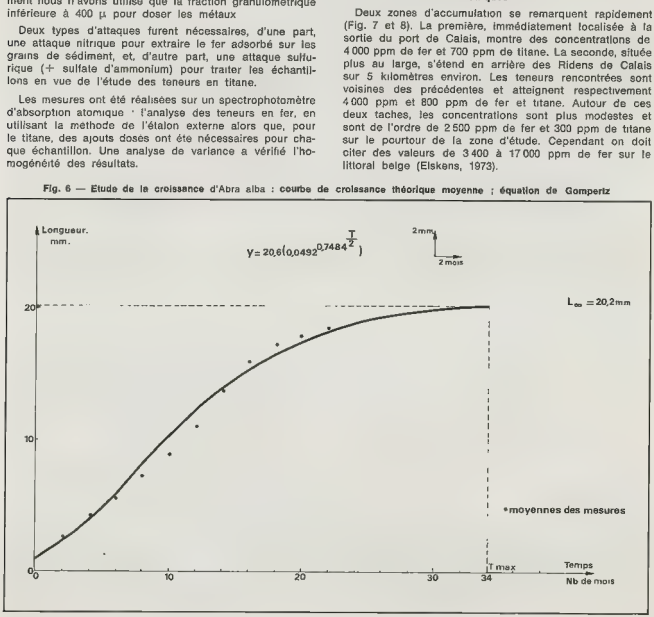



**Fig. 5 — Diagramme de Ford-Walford : étude de la croissance d'Abra alba**

### Etude des teneurs métalliques

Deux zones d'accumulation se remarquent rapidement (Fig. 7 et 8). La première, immédiatement localisée à la sortie du port de Calais, montre des concentrations de 4 000 ppm de fer et 700 ppm de titane. La seconde, située plus au large, s'étend en arrière des Ridens de Calais sur 5 kilomètres environ. Les teneurs rencontrées sont voisines des précédentes et atteignent respectivement 4 000 ppm et 800 ppm de fer et titane. Autour de ces deux taches, les concentrations sont plus modestes et sont de l'ordre de 2 500 ppm de fer et 300 ppm de titane sur le pourtour de la zone d'étude. Cependant on doit citer des valeurs de 3 400 à 17 000 ppm de fer sur le littoral belge (Elskens, 1973).

**Fig. 6 — Etude de la croissance d'Abra alba : courbe de croissance théorique moyenne ; équation de Gomperlz**



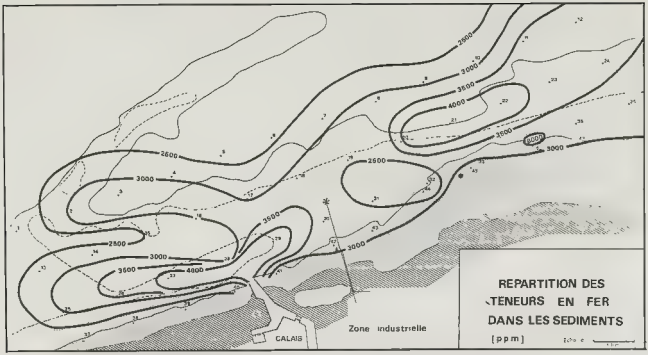



**Fig. 7 — Répartition des teneurs en fer dans les sédiments aux abords de Calais**

En comparant les figures 2, 3, 7 et 8, on peut constater la relation entre la bathymétrie, la composition granulométrique et les teneurs en métaux du site étudié. Compte tenu de la préférence d'*Abra alba* pour les sédiments à granulométrie fine (Fig. 2), ce Lamellibranche occupe les zones où la concentration en métaux est la plus forte. Ainsi un prélèvement contenant 450 *Abra* / 30 litres a été réalisé dans un sédiment composé en grande partie de vase (station 2) et où nous avons constaté plus de 8 000 ppm de fer. De même toutes les récoltes de sédiments benthiques comportant *Abra alba* contenaient près de 4 000 ppm de fer et 700 ppm de titane.

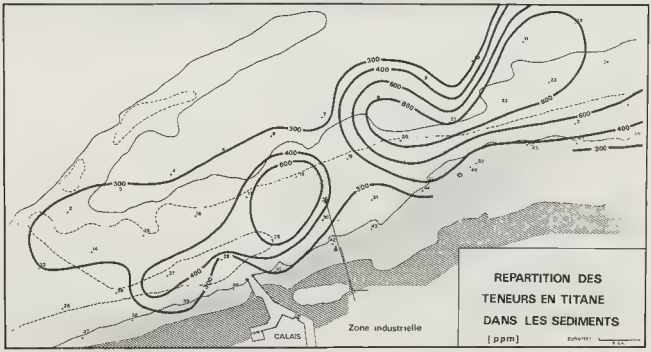
Comme on sait que la corrélation entre les teneurs des sédiments en éléments métalliques et les concentrations de ceux-ci dans les Lamellibranches sont nettes (Romeril, 1974), mais dépendent du métal considéré, nous avons dosé les teneurs en fer et titane dans *Abra alba* de la zone de Calais. L'analyse de la chair d'*Abra* révèle des valeurs allant de 800 à 2 600 ppm de fer et 100 ppm de titane (coquille non comprise).

## IV. DISCUSSION :

### IMPACT DES POLLUTIONS.

Le Lamellibranche *Abra alba* trouve donc sur le littoral de Calais-Dunkerque des conditions propices à son installation sur des fonds à sédiments fins (sable ou vase). Les émissaires d'eaux usées assurent l'apport de matières organiques nécessaires au développement d'une population localisée par taches d'abondance

**Fig. 8 — Répartition des teneurs en titane dans les sédiments aux abords de Calais**



Près de la côte et dans les fjords (Mer Baltique, Kattegat, Jutland...), Petersen (1918) souligne l'importance écologique de ce Lamellibranche. Il considère en effet que les *Abra* ne peuvent vivre plus de deux ans en raison de la prédation intense qu'effectuent les poissons. Les variations de densité du stock d'*Abra* seraient, également selon Petersen, attribuables aux poissons plats qui en font leur proie favorite.

En analysant des contenus stomacaux de poissons chalutés sur le littoral de la Manche-mer du Nord, on a pu constater que dans les zones où abondent les *Abra* (ex. : station 2, Fig. 1 et 3), les flets (*Platichthys flesus* Linné), qui sont alors « un des rares poissons à être pêchés dans les zones de vase noire du littoral » (Gilson, cité in Poll 1947), se nourrissent presque exclusivement aux dépens de ce Lamellibranche.

Compte tenu des teneurs élevées des metaux, mesurées dans les sédiments fins et des accumulations possibles de ceux-ci dans *Abra*, ce qui ne semble pas préjudiciable à la croissance du Lamellibranche, il convient néanmoins de signaler cette chaîne trophique *Abra*-Flet et de rechercher les polluants qui peuvent éventuellement contaminer le poisson. On sait en effet (Hardisty et coll., 1974 a) que la corrélation entre le comportement nutritionnel et certains métaux lourds (plomb, cadmium) a été prouvée pour divers poissons capturés dans l'estuaire de la Severn (Angleterre). Ces auteurs ont pu montrer par ailleurs (1974 b) que la contamination par le zinc des flets capturés dans le canal de Bristol, provenait, pour l'essentiel, du bivalve *Macoma balthica* Linné.

Cependant, si la possible contamination par le zinc semble un fait admis pour ce poisson (Hoss, 1964), il convient de ne pas généraliser *a priori*, à l'ensemble des métaux dont ceux de la zone considérée dans notre travail. Par ailleurs, pour apprécier les teneurs mesurées des éléments métalliques dans les *Abra* du littoral de Calais, il faut tenir compte de la part de sédiment que contiennent ces Mollusques, ainsi qu'en témoignent les pertes au feu de 15 à 20 %. Or Bowen (1966) et Pinta (1971) indiquent, par exemple, que les vases contiennent 1 300 ppm de titane. C'est ainsi que les analyses d'*Abra* prélevées en un point du littoral dépourvu d'usines métallurgiques (Dannes, fig. 1) montrent des teneurs comparables à celles mesurées dans les *Abra* prélevées au large de Calais, tout au moins en ce qui concerne le titane.

Le problème reste donc posé. Lorsqu'une espèce, telle *Abra alba*, a un préférendum écologique (turbidité, matières organiques, granulométrie fine..) tel, qu'elle recherche les zones littorales eutrophes souvent polluées, il convient d'effectuer les recherches appropriées si cette espèce entre dans la chaîne trophique dont le consommateur final est chacun d'entre nous

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


ANSELS A.D., 1974. — Seasonal changes in biochemical composition of the bivalve *Abra alba* from the Clyde sea area. *Scott. mar. Biol. Ass.*, 25 : 13-20, 8 fig

BEVERTON R.J.H. et HOLT S.J., 1957. — On the dynamics of exploited fish populations. *Fish Invest*, Ser II, 19 : 153 p.

BOWEN H.J.M., 1966. — Trace elements in biochemistry. *Academic Press* Edit., London, 241 p

BRYAN G.W., 1971. — The effects of heavy metals (Other than Mercury) on marine and estuarine organisms. *Proc. Roy. Soc. Lond.*, B, 177 : 389-410

CABIOCH L., 1968. — Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cah. de Biol. mar.*, 9 (5), supol : 720 p

CABIOCH L. et GLAÇON R., 1975. — Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, de la baie de Somme au Pas-de-Calais. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 280 (4) : 491-494, 1 fig.

DEWARUMEZ J.-M., 1976. — Etude du macrobenthos subtidal de la région de Gravelines (Nord). *D.E.A. Sc. Nat., Univ. Lille I* : 164 p

EISMA D., 1966 — The distribution of the benthic marine molluscs off the main dutch coast. *Neth. Jnl. Sea Res.*, 3 (1) : 107-163

ELSKENS I., 1973. — Some aspects of dynamic behaviour of metallic and other pollutants in the water column and the associated sectors. *Meth. Modèl sea Project, e. t. a. D e. t. y. p. Edit.*, Liège, Ann. report, 3 : 415-454, 29 fig.

GLEMAREC M., 1964. — Le genre *Abra alba* sur les côtes atlantiques de Bretagne. Systématique et écologie. *J. Conch. Paris*, 104 : 15-28

GLEMAREC M., 1963. — La faune benthique dans la partie méridionale du massif armoricain. Etude préliminaire. *Cah. biol. mar.*, 6 : 51-65

GUILLE A., 1971. — Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalane française VI. Données autoécologiques (Macrofaune). *Vie et Milieu*, 22 (3), série B, 469-527

HARDISTY M.W., HUGGINS R.J., KARTAR S. et SAINSBURY M., 1974 a. — Ecological implications of heavy metal in fish from the Severn estuary. *Mar. poll. Bull*, G. B., 5 (1) : 12-15

HARDISTY M.W., KARTAR S. et SAINSBURY M., 1974 b. — Dietary habits and heavy metal concentrations in fish from the Severn estuary and Bristol Channel. *Mar. poll. Bull*, G. B., 5 (4) : 61-63

HOSS D.E., 1964. — Accumulation of zinc 65 by flounder of the genus *Parahichthys*. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 93 : 364-368

HUGHES T.G., 1975. — The sorting of food particles by *Abra* sp Bivalve tellinacea) *J exp mar. Biol. Ecol.*, 20, 137-156

LEVEQUE C., 1971 — Equation de Von Bertalanffy et croissance des Mollusques benthiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., Ser. Hydrobiol.* 5 (3-4) : 253-283, 21 fig.

MUUS K., 1973. — Settling, growth and mortality of young bivalves in the Oresund. *Ophelia*, 12 : 79-116, 22 fig.

PETERSEN J., 1918 — The sea bottom and its production fish food *Rep. Dan. Biol. Stat.*, 25 : 1-62, 16 fig., 12 pl.

PICARD J., 1965. — Recherches qualitatives sur les biocoenoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise *Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume*, 36 (52) 1-160

PINTA M., 1971. — Spectrométrie d'absorption atomique, applications aux analyses chimiques. *O.R.S.T.O.M. 2 tomes Masson Edit.*, Paris : 751 p.

POLL M., 1947. — Faune de Belgique : poissons marins. *Musée royal d'histoire naturelle de Belgique Edit.*, Bruxelles : 452 p

RICHARD A., 1971. — Contribution à l'étude expérimentale de *Sepia officinalis* Linné (Mollusque Céphalopode). *Thèse doc. état, Lille*, 2 tomes, 305 p., 104 fig., 42 pl.

ROMERIL M.G., 1974. — Trace metals in sediments and bivalve molluscs in Southampton water and the Solent. *Rev. Intern. Oceanogr. Med.*, 33 : 47.

# Influence de la nature de l'habitat, du rythme nycthéméral et de la thermohygrométrie sur l'excrétion azotée de *Littorina littorea (L.)* adulte (mollusque mésogastéropode *Littorinidae)*

*par Jacques DAGUZAN*

Laboratoire de Zoologie générale et d'Ecophysiologie - Faculté des sciences biologiques, Université de Rennes, avenue du Général-Leclerc, 35031 Rennes Cedex

**RÉSUMÉ**

L'excrétion azotée et le métabolisme hydrique, chez les *Littorinidae*, varient qualitativement et quantitativement surtout en fonction du cycle de la marée et de la teneur en eau des tissus des individus de l'espèce considérée. Tout se passe comme si les animaux présentaient une excrétion de type terrestre à marée basse et de type aquatique à marée haute. Cependant, nombreux sont les autres facteurs écologiques qui peuvent avoir une action directe ou indirecte sur l'excrétion azotée des Littorines. Parmi eux, trois semblent avoir un rôle important : la nature de l'habitat, le cycle nycthéméral et la thermohygrométrie.

**SUMMARY**

Nitrogen excretion and water metabolism of *Littorinidae* vary qualitatively and quantitatively according to the tide —cycle and to the water— content of tissues of the individuals. It would seem that animals present a terrestrial type of excretion during low, —tide and an aquatic type of excretion at high— tide. Nevertheless, there are numerous ecological factors which can have either a direct or indirect action on nitrogen excretion of periwinkles. Three of these seem to play an important role· habitat, nycthemeral rythm and thermo-hygrometry

L'excrétion azotée et le métabolisme hydrique, chez *Littorina littorea* (L.), varient qualitativement et quantitativement surtout en fonction du cycle de la marée et de la teneur en eau des tissus des individus (Daguzan, 1970, 1971, 1975 ; Daguzan et Razet, 1971). Tout se passe comme si les animaux présentaient une excrétion de type terrestre à marée basse (rejet d'acide urique) et de type aquatique à marée haute (élimination d'acide urique et d'ammoniaque).

Cependant, il nous a paru intéressant de voir si parmi les nombreux autres facteurs écologiques qui peuvent avoir une action directe ou indirecte sur l'excrétion azotée de *Littorina littorea* adulte, la nature de l'habitat, le cycle nycthéméral et la thermo-hygrométrie ont une influence sur l'excrétion.

## PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Pour cette étude, dix individus de *Littorina littorea* adultes, de tailles sensiblement voisines, sont ramassés sur la pointe rocheuse de Penvins (Morbihan), à intervalles de temps réguliers, pendant tout le cycle d'une marée, en mode semi-battu. Les animaux sont prélevés parmi le *Fucus spiralis*, d'une part, et dans les cuvettes contenant de l'eau de mer à marée basse, d'autre part, selon la technique que nous avons mise au point antérieurement (Daguzan, 1970).

Sur place, les bigorneaux sont débarrassés de leur coquille, pesés, desséchés sous vide en présence de chlorure de calcium ; au laboratoire, ils sont réduits en poudres sur lesquelles nous recherchons alors qualitativement et quantitativement les divers catabolites azotés et les enzymes de l'uricolyse.

## RESULTATS EXPERIMENTAUX

### 1. Influence de la nature de l'habitat.

A marée basse, les individus de *Littorina littorea* se réfugient sous les galets et les blocs, sur les rochers parmi les *Fucus spiralis* ou dans les cuvettes contenant de l'eau de mer

Des enregistrements de la température effectués dessus et dessous les blocs et les galets, d'une part, et sous le *Fucus spiralis*, d'autre part (Fig. 1), montrent que les deux milieux, algal et lithal, jouent un rôle de « tampon thermique » très important et permettent, selon la saison, de maintenir une température bien inférieure ou supérieure à celle du milieu ambiant. De même, si l'on compare, à un même niveau cotidal, la température de l'eau de mer des cuvettes avec celle du milieu algal environnant (Fig. 2), on note que, durant les quatre premières heures de leur exondation, les températures sont voisines, puis l'écart thermique entre les deux s'accentue pour devenir maximal juste avant que la marée montante atteigne de nouveau ces cuvettes et algues.

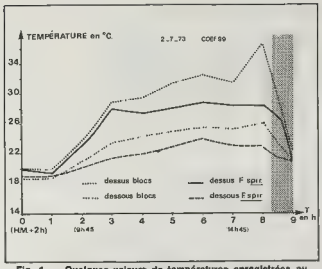



**Fig. 1 — Quelques valeurs de températures enregistrées au niveau de l'habitat de** Littorina littorea **(L) (**Fucus spiralis **; mode semi-batlu).**

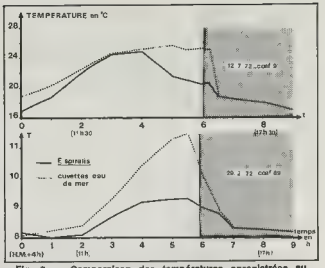



**Fig. 2 — Comparaison des températures enregistrées au niveau du** Fucus spiralis **avec celles des cuvettes contenant de l'eau de mer et situées au même endroit.**

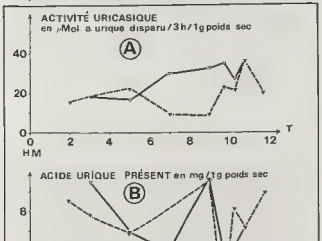
(Les heures légales figurent entre parenthèses, le grisé correspond à la phase d'immersion.)

Afin de vérifier si la nature de l'habitat influe sur l'excrétion azotée des bigorneaux, une étude comparative a été entreprise le 26 septembre 1969 entre les individus qui restent sur le rocher parmi les algues et ceux qui demeurent dans les cuvettes.

De cette série d'expériences, on note que, quel que soit l'habitat considéré à marée basse, globalement, le type d'excrétion est le même et la chaîne de l'uricolyse est incomplète. Cependant, les sujets qui se trouvent dans les cuvettes remplies d'eau de mer présentent des activités enzymatiques qui sont plus importantes que ceux qui sont à sec sur le rocher parmi le *Fucus spiralis* (Fig. 3)

**Fig. 3 — Variations des activités enzymatiques et des teneurs des catabolites azotés chez** Littorina littorea **(L.) adulte, en fonction de la nature de l'habitat (marée du 28-9-69).**

**A : activité uricasique ; B : teneur en acide urique. (H.M. : haute mer ; la bande hachurée correspond à la durée d'exondation des individus vivant sur le rocher parmi le** Fucus spiralis **)**




Il n'y a pas cette chute rapide du taux d'activité des enzymes, et en particulier de l'uricase, liés surtout à la dessiccation des individus. Cependant, quand le milieu (cuvette remplie d'eau de mer) devient défavorable, les activités enzymatiques diminuent alors rapidement. Ce phénomène est à mettre, peut-être, en parallèle avec l'activité des bigorneaux ; ceux qui sont dans les cuvettes

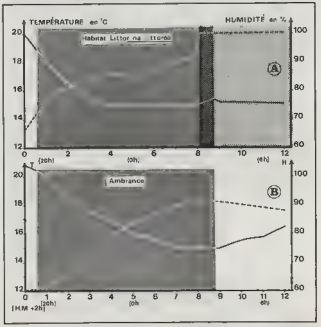



**Fig. 4 — Valeurs de la température et de l'humidité enregistrées au niveau de l'habitat de** Littorina littorea **(L.) (A), et du milieu ambiant (B), au cours de la marée de nuit du 20 au 21 septembre 1971 (coefficient 88). (Les heures légales figurent entre parenthèses ; le grisé correspond à la phase d'immersion et le gris foncé à la phase nocturne.)**

d'eau de mer, à marée basse, restent actifs plus longtemps que ceux qui se trouvent sur le rocher, parmi les algues. L'apparition d'un état de quiescence est plus rapide dans un cas que dans l'autre

### 2. Influence du cycle nycthéméral.

Jusqu'à présent, il n'existe pratiquement pas de données relatives à la physiologie des Prosobranches, et

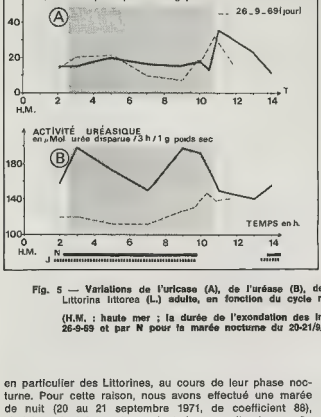



**Fig. 5 — Variations de l'uricase (A), de l'uréase (B), de l'acide urique (C) et de l'ammoniaque (D) présents chez** Littorina littorea **(L.) adulte, en fonction du cycle nychtéméral.**

**(H.M. : haute mer ; la durée de l'exondation des individus est représentée par J pour la marée diurne du 26-9-69 et par N pour la marée nocturne du 20-21/9/71 ; le grisé représente la phase nocturne.)**

en particulier des Littorines, au cours de leur phase nocturne. Pour cette raison, nous avons effectué une marée de nuit (20 au 21 septembre 1971, de coefficient 88), choisie volontairement pendant la nouvelle lune, afin d'éliminer un nouveau facteur, l'éclairement lunaire

La température ambiante diminue graduellement depuis le coucher du soleil jusque vers 2 heures où elle se stabilise, puis augmente de nouveau vers le lever du jour ; pour l'humidité, c'est le phénomène inverse. Au niveau de l'habitat de *Littorina littorea*, température et humidité évoluent de façon identique à celles du milieu ambiant (Fig. 4). Durant la phase nocturne et à marée basse, il y a donc inversion de l'évolution des facteurs thermiques et hygrométriques par rapport aux observations effectuées durant la période diurne.

On note ainsi qu'aussi bien le jour que la nuit, l'excrétion azotée chez *Littorina littorea* (L.) adulte reste du même type, et en particulier :

- toutes les enzymes de l'uricolyse existent, mais ne sont toutes fonctionnelles qu'au cours de l'immersion des individus ; l'uricase et l'uréase sont très actives tandis que l'allantoïnase et l'allantoïcase ont des niveaux d'activité très faibles ;
- quelle que soit l'enzyme considérée, son taux d'activité est toujours plus élevé la nuit que le jour (Fig. 5), ce qui semble être en relation avec l'hygrométrie plus importante la nuit que le jour ;
- les catabolites azotés formant les divers maillons de la chaîne de l'uricolyse sont tous présents, et ne montrent pas des variations aussi importantes que celles observées le jour. Le plus abondant d'entre eux est l'acide urique.

Ainsi, tout se passe comme si, au cours de la nuit, les bigorneaux présentaient le même type d'excrétion azotée que durant le jour, mais avec des activités enzymatiques plus importantes et des variations plus faibles, phénomène dû probablement aux conditions du milieu plus favorables pendant la phase nocturne.

### 3. Influence de la thermo-hygrométrie.

Nous avons noté qu'il semble exister une relation entre l'excrétion azotée, la teneur en eau des tissus et les conditions thermo-hygrométriques. Tant que l'hygrométrie du milieu est importante et la température favorable, les individus restent actifs à marée basse, leur teneur en eau demeure élevée et les activités enzymatiques sont plus importantes.

Dès que les conditions du milieu deviennent défavorables, les bigorneaux se rétractent, ferment leur opercule et entrent dans un état de quiescence qui se traduit par un ralentissement, voire un arrêt des activités enzymatiques et une diminution de la teneur en eau des tissus

Il convient d'être prudent dans l'interprétation et la généralisation des phénomènes enregistrés, relatifs à l'excrétion azotés des Gastéropodes Prosobranches marins ; en particulier, la théorie de Needham (1935) ne se trouve que très partiellement verifiée car l'excrétion ne dépend pas uniquement du niveau cotidal qu'occupe l'animal.

Ainsi, *Littorina littorea* adulte montre un type d'excrétion qui varie avant tout en fonction du cycle de la marée, et qui est lié non au cycle de la marée elle-même, mais à l'absence ou à la présence de l'eau de mer. De plus, certains facteurs abiotiques, tels que la nature de l'habitat, le cycle nychtéméral et la thermo-hygrométrie peuvent entraîner des modifications plus ou moins importantes de l'excrétion

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


NEEDHAM J., 1935. — Problems of nitrogen catabolism in Invertebrates : II. Correlation between uricotelic metabolism and habitat in the phylum Mollusca. *Biochem J.*, 29, p. 238-251

DAGUZAN J., 1970. — Relation entre l'excrétion de l'acide urique et le cycle de la marée chez *Littorina littorea* (L.) adulte (Mollusque Mésogastéropode *Littorinidae*). *C. R. Acad. Sci. Paris*, *270 D*, p. 3131-3138

*DAGUZAN J., 1971.* — Contribution à l'étude de l'excrétion azotée chez *Littorina littorea* (L.) adulte (Mollusque Mésogastéropode *Littorinidae*). *Arch. Sci. Physiol.*, 25, p. 293-302.

DAGUZAN J., 1975. — Contribution à l'écologie des *Littorinidae* (Mollusques Gastéropodes Prosobranches) ; recherches écophysiologiques chez quatre espèces : *Littorina neritoides* (L.), *Littorina saxatilis* (Olivi), *Littorina littorea* (L.) et *Littorina littoralis* (L.). *Thèse Doct. ès Sci Nat., Rennes.*

DAGUZAN J. et RAZET P., 1971. — Les éléments terminaux du catabolisme azoté et leurs variations en fonction de la marée chez *Littorina littorea* (L.) (Mollusque Mésogastéropode *Littorinidae*). *C. R. Acad Sci., Paris*, 272 *D*, p. 2900-2933.

# Modification de la croissance et du comportement de *Venerupis aurea* parasité par *Gymnophallus fossarum* P. Bartoli, 1965 *(Trematoda, Digenea)*

*par Pierre BARTOLI*

Département de Zoologie et Ecologie, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, 13397 Marseille Cedex 4

## RÉSUMÉ

Les métacercaires de *Gymnophallus fossarum* parasitent plusieurs espèces de Lamellibranches ; elles sont localisées exclusivement dans l'espace *interpallium et conchas*. Chez *Venerupis aurea*, la plus grande partie des parasites se rencontre à la périphérie et sur toute la longueur de la ligne palléale ; une faible proportion d'entre eux est répartie sous la charnière. Dans les milieux lagunaires confinés, le parasitisme est très intense. Les milliers de métacercaires provoquent alors des réactions épithéliales aboutissant à un épaississement du bord du manteau. L'amoncellement de nombreux cadavres de parasites contre la ligne d'attache du manteau sur le test forme une crête qui s'élève progressivement tirant ainsi le bord du manteau vers le centre des valves. Par ailleurs, la présence constante de parasites au fond du sillon périostracal et dans la région adjacente perturbe la croissance du périostracum et de larges déchirures apparaissent dans le voile périostracal ; il en résulte un arrêt de la croissance du Pélécypode. Lorsque le périostracum parvient à se reformer, la croissance du Lamellibranche reprend à partir d'un manteau rétracté dans la coquille, d'où une croissance emboîtée.

L'important parasitisme a comme autre conséquence l'inversion de la position de *Venerupis aurea* dans le sédiment. Cette nouvelle attitude rend le Mollusque visible et accessible à *Haematopus ostralegus* (Oiseau Charadriiforme) dans l'intestin duquel les métacercaires évoluent en adultes. Le changement de comportement du Mollusque est donc profitable au parasite, qui est ainsi introduit dans la chaîne alimentaire de son hôte définitif.

## SUMMARY

*The metacercariae of* Gymnophallus fossarum *parasite several species of Bivalves; they are localized only between the mantle and the shell. In* Venerupis aurea, *the most part of larvae occurs at the periphery and all along the pallial line; a small part is distributed under the hinge. In confined lagoons, the parasitism is very important. Thousands of metacercariae produce epithelial reactions and the thickening of the pallial edge. Accumulation of numerous dead bodies against the pallial line erects a ridge which is growing up progressively and then pulls pallial edge towards the valve center. Furthermore, some metacercariae are always embedded at the bottom of the periostracal groove disturbing the growing of the periostracum; some other larvae injure the periostracum. Growth stops when the periostracum is torn. Later, when it is repaired, the shell growth begins again from the inner face of the valve because the pallium has been retracted.*

*When the parasitism is very important, the attitude of* Venerupis aurea *in the sand is changed. It is now perceptible and the Oystercatcher,* Haematopus ostralegus, *can open the valves. This change of the behaviour of the Mollusc is advantageous for* G. fossarum. *The metacercariae enter the alimentary chain of the definitive host and develop into adults in intestine.*

---

*Gymnophallus fossarum* P. Bartoli, 1965, est un Trématode parasite dont le cycle biologique se déroule dans les lagunes de Camargue (France méridionale). Nous en rappelons les points importants (P. Bartoli, 1972 et 1974).

Premier hôte intermédiaire : *Scrobicularia plana* Da Costa. Ce Lamellibranche est parasité par les sporocystes desquels s'échappent les furcocercaires.

Deuxièmes hôtes intermédiaires. Les métacercaires, jamais enkystées, se rencontrent dans différentes espèces de Pélécypodes : *Cerastoderma glaucum* (Bruguière), *Acanthocardia tuberculata* (L.), *Venerupis decussata* (L.), *V. aurea* (Gmelin), *V. rhomboides* (Pennant), *Spisula subtruncata* (da Costa), *Solen marginatus* Montagu, *Ensis ensis* (L.) et *Pharus legumen* (L.).

Hôte définitif : *Haematopus ostralegus* L. (Huîtrier-Pie : Oiseau Charadriiforme). Les vers adultes se répartissent le long de l'intestin.

Chez les *Gymnophallidae*, la plupart des espèces ont des métacercaires parasites de Lamellibranches ; celles-ci sont toujours localisées entre le manteau et la coquille de leur hôte. Chez les Gymnophallidés de Camargue parasites de Pélécypodes, les métacercaires se rencontrent exclusivement dans l'espace extrapalléal situé dans la région centrale des valves. Seule l'espèce *G. fossarum* fait exception à cette règle. En effet, ses métacercaires ne s'observent jamais au centre des valves mais exclusivement dans l'espace extrapalléal « périphérique » situe sur le pourtour des lobes palléaux, entre la ligne d'attache du manteau sur le test et la bordure extrême du pallium

Cette localisation particulière des métacercaires de *G. fossarum* dans leur hôte est à l'origine de tout un ensemble de perturbations qui sont d'autant plus accusées que le nombre de parasites abrités est plus élevé Les métacercaires de *G. fossarum* n'engendrent pas les

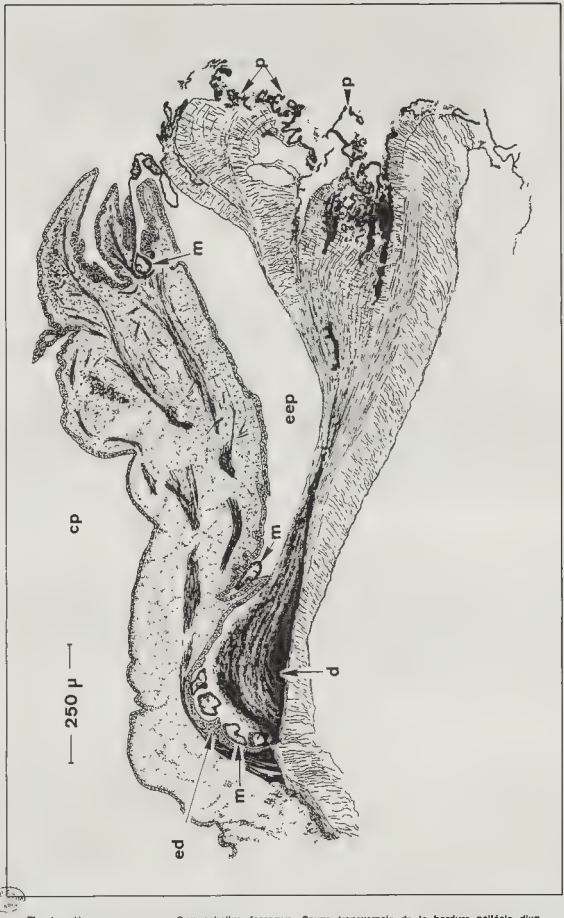



**Fig. 1** — Venerupis aurea - Gymnophallus fossarum. **Coupe transversale de la bordure palléale d'un Lamellibranche très parasité (lagune de Beauduc, Camargue). La trame protéique de la coquille révèle les anomalies de la croissance du test. cp : cavité palléale ; d : dépôt organique stratifié ; ed : épithélium palléal dégradé ; eep : espace extrapalléal "périphérique" ; m : métacercaires ; p : lambeaux de périostracum.**

mêmes effets selon qu'elles parasitent telle ou telle espèce de Lamellibranche. Nous avons montré dans de précédents travaux les dégradations remarquées chez *Cerastoderma glaucum* (P. Bartoli, 1973 a) et chez *Venerupis decussata* (P. Bartoli, 1973 b). Nous nous proposons de décrire ici les modifications intervenant dans la croissance et le comportement de *Venerupis aurea* parasité par les métacercaires de *Gymnophallus fossarum*. Ces altérations n'intéressent que des deuxièmes hôtes très intensément parasités, vivant dans des endémiotopes extrêmement confinés comme par exemple la lagune de Beauduc en Camargue

Dans la lagune de Beauduc, nous avons évalué à 35 millions le nombre de cercaires de *G. fossarum* essaimées par mètre carré au cours d'une année. La surface peuplée par *Scrobicularia plana* étant d'une dizaine d'hectares, nous avons un aperçu de l'importance du parasitisme dans cette lagune (P. Bartoli, 1974). Il en résulte que le nombre de métacercaires parasitant les deuxièmes hôtes, *Venerupis aurea* en particulier, est extraordinairement élevé.

**Microbiotopes des métacercaires**

Chez *Venerupis aurea*, les métacercaires de *G. fossarum* sont réparties à la périphérie des lobes palléaux (espace extrapalléal "périphérique"), ainsi que sous la charnière, au niveau de l'isthme palléal (espace extrapalléal « sous-articulaire »). Le plus grand nombre de larves se rencontre dans le premier de ces deux microbiotopes

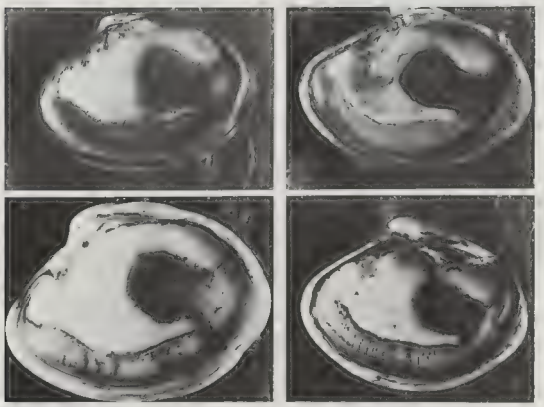
Les métacercaires n'occupent pas la totalité du volume de l'espace extrapalléal « périphérique » mais seulement deux territoires (*Fig* 1 et 3 b). La plus grande partie des larves s'agglutine contre la ligne d'attache du manteau sur le test, sur toute sa longueur. L'autre partie des métacercaires envahit l'extrémité opposée ; les individus sont fixés à la surface interne du périostracum ou insinués au fond du sillon périostracal. La région comprise entre ces deux territoires est toujours délaissée par les parasites, même dans les cas où l'infestation est très intense

**Réactions de l'hôte vis-à-vis des métacercaires**

L'épithélium palléal situé à quelque distance de la ligne d'attache du manteau sur le test réagit au contact des nombreuses métacercaires. Il apparaît en effet plusieurs villosités dont la taille diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la ligne palléale (fig. 1 et 3 c, d, e). Ces expansions digitiformes augmentent dans une certaine proportion l'épaisseur de la bordure du manteau ; elles rappellent exactement celles que nous avons décrites chez *Cerastoderma glaucum* parasité par *G. fossarum* (fig 6 B) (P. Bartoli, 1973 a). On ne rencontre pas souvent des métacercaires enfouies parmi les villosités. Les parasites ne sont jamais enveloppés dans des vésicules épithéliales, comme la chose est décrite chez *Venerupis decussata* ; ils vivent librement dans l'espace extrapalléal

L'épithélium de la face externe du bord du manteau ne conserve un aspect normal que dans sa région la

**Fig. 2** — *Venerupis aurea* - *Gymnophallus fossarum*. **Photographies de la face interne de valves droites d'exemplaires extrêmement contaminés (lagune de Beauduc, Camargue).**



plus périphérique. Au fur et à mesure que l'on se rapproche de la ligne d'insertion du pallium sur la coquille, cet épithélium s'aplatit considérablement. Le conjonctif sous-jacent, très dense, chromophile et granuleux, ne renferme aucun cristal à la différence de ce que nous avons observé chez *V. decussata* (P. Bartoli, 1974).

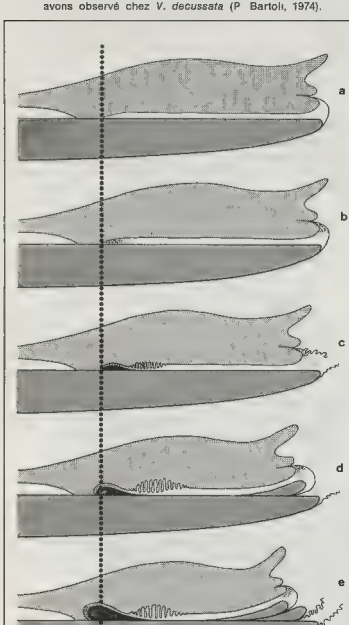



**Fig. 3** — Venerupis aurea - Gymnophallus fossarum. **Schéma montrant comment le dépôt organique, en s'accroissant vers le centre des valves, repousse la ligne palléale dans cette direction. La croissance de la coquille s'opère à partir d'un manteau de plus en plus réfracté. En noir, le dépôt organique.**

Les métacercaires localisées à l'autre extrémité de l'espace extrapalléal périphérique, dans la région du périostracum, sont à l'origine de dégradations d'une autre nature. Les larves s'immiscent jusqu'au fond du sillon périostracal au niveau duquel est engendré le périostracum. La croissance de ce dernier est, par voie de conséquence, fortement perturbée. Par ailleurs, de nombreuses larves se fixent sur le voile périostracal, finissant par y produire des lésions plus ou moins graves

**Répercussions du parasitisme sur la coquille**

Dans la lagune de Beauduc, l'intensité de l'infestation des *Venerupis aurea* par *Gymnophallus fossarum* atteint des valeurs tellement élevées qu'il en découle chez ces Lamellibranches des traumatismes d'une exceptionnelle gravité. Ils se traduisent en particulier par une série de déformations de la coquille

Chez *V. aurea*, et à la différence de ce que nous avons décrit chez *Cerastoderma glaucum* (P. Bartoli, 1973 a), les perturbations ne sont pas visibles à la surface externe du test. Certaines altérations sont limitées à la bordure de chaque valve ; elles consistent essentiellement en une ou plusieurs rainures plus ou moins profondes, du fond desquelles s'échappent des lambeaux de périostracum. D'autres dégradations, beaucoup plus spectaculaires, affectent la face interne des valves. Il s'agit de dépôts de couleur sombre et d'importance souvent considérable. On les observe exclusivement dans l'espace extrapalléal périphérique, y compris la région siphonale (Fig. 2) En dehors de l'aire sinusale, ces dépôts forment une crête souvent très élevée d'aspect parfois régulier, parfois bourgeonnant, s'étendant sur toute la longueur de la ligne palléale. Dans l'encoche siphonale, les dépôts consistent en élévations parallèles entre elles et aux bords du sinus ; parfois, des travées perpendiculaires donnent à l'ensemble un aspect alvéolaire.

**Mécanisme de formation des altérations de la coquille**

Les recherches histologiques nous ont permis de comprendre le mécanisme de formation des accidents apparaissant sur le bord des valves de *Venerupis aurea* parasité par *G. fossarum* (fig. 3).

Les émissions des cercaires commencent, chaque année, dans le courant du printemps, quelque temps après, des dizaines de milliers de jeunes métacercaires sont installées dans l'espace extrapalléal périphérique de leurs hôtes. Or, la contamination du Lamellibranche se poursuit intensivement jusqu'à la fin de l'automne. Le microbiotope des métacercaires étant rigoureusement délimité, il se sature rapidement. Les exigences physiologiques des métacercaires ne peuvent être satisfaites, aussi un grand nombre de parasites meurent ; les cadavres s'accumulent dans le voisinage de la ligne palléale. Il en résulte un dépôt riche en matières organiques, de structure feuilletée (Fig. 1). Dans les couches les plus superficielles, on observe de nombreux cadavres de métacercaires, généralement bien conservés ; par contre, dans les couches les plus anciennes, plus rien ne peut être distingué. Ce dépôt organique est une formation plus ou moins consolidée, qui s'accroît avec le temps par sa face tournée vers la ligne palléale, puisque c'est là que se rassemblent les métacercaires. Au fur et à mesure qu'elle s'élève, cette crête tire le bord palléal en direction du centre des valves. Pendant ce temps, à l'autre extrémité du microbiotope, les métacercaires endommagent le périostracum. Sous l'effet de la tension à laquelle est soumise la bordure du manteau, le périostracum se déchire totalement et le pallium se rétracte alors dans la coquille. Par voie de conséquence, la croissance du test s'arrête. Lorsque le périostracum sera restauré, la croissance de la coquille pourra reprendre, mais la nouvelle fraction de test sera édifiée à partir de l'intérieur de la valve initiale ; ainsi apparaît un décrochement entre le test initial et la nouvelle portion de coquille. Les différentes fractions de coquille sont donc emboîtées les unes à l'intérieur des autres.

Il résulte de ce que nous venons d'exposer que la longueur des *V. aurea* intensément parasités ne peut pas

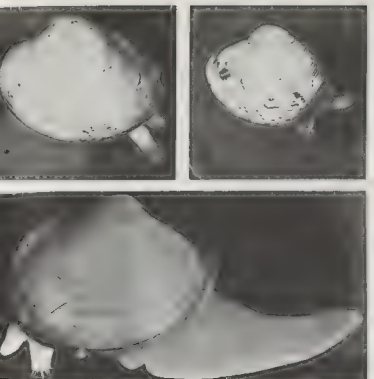


**Fig. 4 — Venerupis aurea - Gymnophallus fossarum. Photographies d'individus très contaminés provenant de la lagune de Beauduc (Camargue). Remarquer la position extrêmement ventrale de leur siphon inhalant.**

s'accroître. C'est précisément ce que l'on constate chez les individus vivant dans la lagune de Beauduc. Sur plusieurs centaines d'exemplaires mesurés, la plus grande longueur relevée atteint 2,30 cm

### Modification du comportement de Venerupis aurea

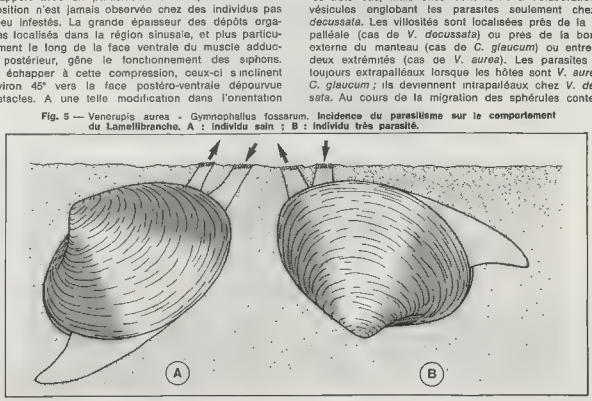
Les *V. aurea* très contaminés par les metacercaires de *Gymnophallus fossarum* ont leurs siphons repoussés vers la face postéro-ventrale (Fig. 4). Ce phénomène est en rapport avec un parasitisme intensif, car une telle disposition n'est jamais observée chez des individus pas ou peu infestés. La grande épaisseur des dépôts organiques localisés dans la région sinusale, et plus particulièrement le long de la face ventrale du muscle adducteur postérieur, gêne le fonctionnement des siphons. Pour échapper à cette compression, ceux-ci s inclinent d'environ 45° vers la face postéro-ventrale dépourvue d'obstacles. A une telle modification dans l'orientation des siphons correspond un changement dans le comportement du Lamellibranche. Pour pouvoir survivre, l'animal doit se placer dans le sédiment dans une position presque inverse de celle que l'on observe dans le cas de Pélécypodes normaux (Fig. 5), mais comme il ne peut pas s'enfouir totalement, il en résulte que toute la longueur de la face ventrale du coquillage est découverte. La cavité palléale, largement béante, devient parfaitement accessible aux éléments étrangers, aux cercaires de *G. fossarum* en particulier. Cette disposition si remarquable du deuxième hôte favorise sa contamination, de sorte que plus le Lamellibranche est parasité, plus il s'infeste. Dans cette nouvelle attitude, *Venerupis aurea* devient dès lors une proie extrêmement facile pour *Haematopus ostralegus*, dans l'intestin duquel les métacercaires de *G. fossarum* évoluent en adultes. Le changement du comportement du Mollusque est donc profitable au parasite qui est ainsi introduit dans la chaîne alimentaire de son hôte définitif.

En conclusion, nous comparerons les résultats de nos recherches sur le parasitisme de *Venerupis aurea* avec ce que nous avons déjà publié concernant *Cerastoderma glaucum* (1973 a) et *Venerupis decussata* (1973 b).

A l'intérieur de l'espace extrapalléal périphérique, les métacercaires de *Gymnophallus fossarum* n'occupent pas rigoureusement le même emplacement dans ses différents deuxièmes hôtes intermédiaires (fig 6 et tableau). Dans le cas de *V. decussata*, les métacercaires s'installent le long de la ligne d'insertion du manteau sur le test. S'il s'agit de *C. glaucum*, les parasites se rencontrent au contraire à l'autre extrémité de l'espace extrapalléal périphérique, vers la bordure externe du manteau ; ils sont alors visibles depuis l'extérieur, à travers le periostracum transparent. Dans *V. aurea*, les métacercaires sont observées à la fois dans la région extrapalléale la plus périphérique (comme pour *C. glaucum*) et le long de la ligne d'insertion du manteau (comme pour *V. decussata*).

L'examen detaillé des relations qui s'établissent entre l'hôte et ses parasites montre de profondes divergences suivant que le Lamellibranche appartient à telle ou telle espèce. Des proliférations épithéliales sont notées dans les trois cas, mais elles conduisent à l'élaboration de vésicules englobant les parasites seulement chez *V. decussata*. Les villosités sont localisées près de la ligne palléale (cas de *V. decussata*) ou près de la bordure externe du manteau (cas de *C. glaucum*) ou entre ces deux extrémités (cas de *V. aurea*). Les parasites sont toujours extrapalléaux lorsque les hôtes sont *V. aurea* et *C. glaucum* ; ils deviennent intrapalléaux chez *V. decussata*. Au cours de la migration des sphérules contenant

**Fig. 5 — Venerupis aurea - Gymnophallus fossarum. Incidence du parasitisme sur le comportement du Lamellibranche. A : individu sain ; B : individu très parasité.**

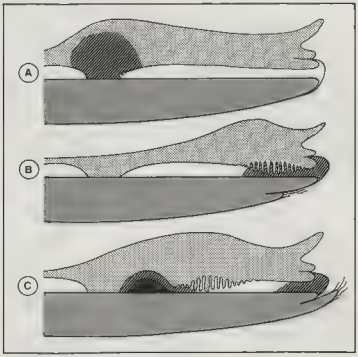


| | C. glaucum | V. aurea | V. decussata |
|---|---|---|---|
| Région de la bordure palléale abritant les métacercaires. | extrémité distale | extrémités distale et proximale | extrémité proximale |
| Enveloppement des métacercaires | non | non | oui |
| Localisation des métacercaires | extrapalléale | extrapalléale | intrapalléale |
| Localisation des villosités épithéliales | extrémité distale | region moyenne | extrémité proximale |
| Lésions | 0 | épithélium et conjonctif palléaux | épithélium et conjonctif palléaux ; muscles radiaires |
| Tissu réact onnel | 0 | peu important | très important |
| Impression palléa e | non perturbée | non perturbée | très perturbée et élargie |
| Croissance de la coquille | très perturbée | très perturbée | non perturbée |
| Dépôts organiques | 0 | importants | 0 |

**Comparaison des interactions hôte-parasite chez** Cerastoderma glaucum, Venerupis aurea **et** V. decussata, **parasités par** Gymnophallus fossarum

les métacercaires, les muscles radiaires internes et externes de *V. decussata* sont lésés et l'impression palléale est accidentée ; cela ne s'observe ni pour *V. aurea* ni pour *C. glaucum*. La croissance de la coquille de *V. decussata* n'est jamais perturbée ; elle l'est beaucoup pour *V. aurea* et *C. glaucum*. Les accidents sont visibles à la surface externe du test de *C. glaucum*, sur la bordure interne de celui de *V. aurea*. Des dépôts de matière organique consolidée sont observés dans les microbiotopes sous-articulaire et périphériques de *V. aurea*, mais seulement dans la région sous-articulaire de *C. glaucum* ; ils sont absents dans *V. decussata*.

**Fig. 6 — Comparaison des relations hôte-parasite chez** Venerupis decussata **(A),** Cerastoderma glaucum **(B) et** Venerupis aurea **(C) intensément parasités par** Gymnophallus fossarum




## TRAVAUX CITÉS


BARTOLI P., 1972. — Les cycles biologiques de *Gymnophallus nereicola*. J. Rebecq et G. Prévot, 1962, et *G. fossarum* P. Bartoli, 1965, espèces jumelles parasites d'oiseaux de rivages marins *(Trematoda, Digenea, Gymnophallidae)*. *Ann. Parasitol. (Paris), 47 (2)* : 193-223

— , 1973 a. — La pénétration et l'installation des cercaires de *Gymnophallus fossarum*, P. Bartoli, 1965 *(Digenea, Gymnophallidae)* chez *Cardium glaucum* Bruguière. *Bull. Mus. Hist nat. 3e série, 117, Zool. 91* : 319-334

— , 1973 b. — Les microbiotopes occupés par les métacercaires de *Gymnophallus fossarum* P. Bartoli, 1965 *(Trematoda, Gymnophallidae)* chez *Tapes decussatus* L. *Bull. Mus. Hist nat., 3e série, 117, Zool. 91* : 335-348

— , 1974. — Recherches sur les *Gymnophallidae* F.N. Morozov, 1955 *(Digenea)*, parasites d'oiseaux des côtes de Camargue : systématique, biologie et écologie. Thèse Univ. Aix-Marseille IIe CNRS, AO : 9429

# Répartition géographique des femelles à tractus génital mâle externe chez *Ocenebra erinacea (L.),* espèce gonochorique

*par Colette FERAL*

Laboratoire d'Endocrinologie et Embryologie expérimentales
Equipe de recherche associée au C.N.R.S. n° 491 UER des Sciences de la Vie, Université, 14032 Caen Cedex.
Institut Universitaire de Biologie Marine, 33120 Arcachon

## RÉSUMÉ

Les femelles d'*Ocenebra erinacea* présentant un tractus génital mâle externe ne sont pas récoltées sur toute l'étendue de l'aire de répartition de l'espèce. Leur présence dans une population est liée à la station prospectée et ne dépend pas de la latitude : ces femelles sont collectées aussi bien sur les côtes de la Manche, de l'Atlantique, qu'en Méditerranée.

## SUMMARY

Biogeographic distribution of females with a penis like outgrowth in *Ocenebra erinacea*.

Females with a penis like outgrowth in *Ocenebra erinacea* are not observed on all the area of distribution of the species. The occurence of those females is in relation with the locality of sampling and don't depend upon latitude: they are collected as well on Channel coast, Atlantic coast as in Mediterranean.

Certaines femelles d'*Ocenebra erinacea,* espèce considérée comme gonochorique, présentent un tractus génital mâle externe. Dans une même population, on peut récolter : des mâles, des femelles et des femelles à pénis. Ces dernières présentent une gonade histologiquement femelle, un utérus, des glandes caractéristiques du tractus femelle et un pénis de taille variable pouvant atteindre la taille d'un pénis mâle

Cette particularité ne se manifeste pas sur toute l'étendue de l'aire de répartition de l'espèce. Plusieurs stations ont été prospectées afin d'étudier la distribution de ces femelles à pénis (fig. 1) .

### I. STATIONS PRINCIPALES

Dans deux stations, les populations ont été suivies pendant une année

1. **A Granville** (côte ouest du Cotentin), aucune femelle à pénis n'a été récoltée de février 1972 à janvier 1973.

2. **Dans le bassin d'Arcachon,** les femelles à tractus genital mâle externe sont présentes dans tous les prélèvements mensuels (février 1973 à janvier 1974). Le pourcentage de femelles à pénis par rapport au nombre de femelles varie de 56 à 96 % (tableau 1).

L'étude comparée de ces deux populations a confirmé le gonochorisme de l'espèce (Féral, 1976). La présence d'un tractus génital mâle externe chez la femelle d'*Ocenebra* est due à l'existence anormale d'un facteur morphogénétique du pénis libéré par les ganglions pédieux, qui agit sur un territoire anormalement compétent (Féral, 1975).

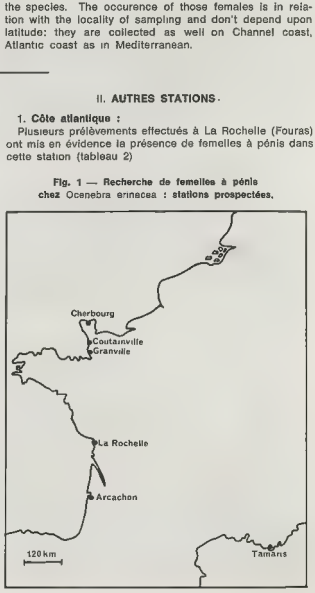
L'examen de lots mensuels d'*Ocenebra* récoltés de novembre 1975 à août 1976 a confirmé ces résultats dans le bassin d'Arcachon : toutes les femelles observées présentaient un tractus génital mâle externe.

### II. AUTRES STATIONS

1. **Côte atlantique :**

Plusieurs prélèvements effectués à La Rochelle (Fouras) ont mis en évidence la présence de femelles à pénis dans cette station (tableau 2)

**Fig. 1 — Recherche de femelles à pénis chez** Ocenebra erinacea **: stations prospectées.**



| Mois | Effectif | Pourcentage de ♂ | Pourcentage de ♀ | Pourcentage de ♀ à pénis/♀ |
|---|---|---|---|---|
| Février 1973 ..... | 106 | 65 | 35 | 94,5 |
| Mars ..... | 104 | 51,9 | 48,1 | 94 |
| Avril ..... | 173 | 47,9 | 52,1 | 56,6 |
| Mai ..... | 85 | 49,4 | 50,6 | 95,3 |
| Juin ..... | 152 | 47,3 | 52,7 | 86,2 |
| Juillet ..... | 161 | 54 | 46 | 77 |
| Septembre ..... | 56 | 50 | 50 | 96,4 |
| Octobre ..... | 109 | 43,1 | 56,9 | 93,5 |
| Novembre ..... | 156 | 54,4 | 45,6 | 77,4 |
| Décembre ..... | 130 | 70 | 30 | 92,3 |
| Janvier 1974 ..... | 99 | 53 | 47 | 91,3 |

TABLEAU 1. Répartition des sexes chez *Ocenebra erinacea* (ARCACHON)

| Mois | Effectif | Pourcentage de ♂ | Pourcentage de ♀ | Pourcentage de ♀ à pénis/♀ |
|---|---|---|---|---|
| Octobre 1975 .... | 167 | 50,9 | 49,1 | 19,5 |
| Janvier 1976 .... | 135 | 50,3 | 49,7 | 11,9 |
| Septembre 1976 . | 34 | 47 | 53 | 44.4 |

TABLEAU 2. Répartition des sexes chez *Ocenebra erinacea* (LA ROCHELLE)

| Mois | Effectif | Pourcentage de ♂ | Pourcentage de ♀ | Pourcentage de ♀ à pénis/♀ |
|---|---|---|---|---|
| Novembre 1973 .. | 92 | 48,9 | 51,1 | 8,5 |
| Décembre ..... | 54 | 55,5 | 44,5 | 4,1 |
| Janvier 1974 ..... | 101 | 49,5 | 50,5 | 15,6 |
| Février ..... | 48 | 54,1 | 45,9 | 31,8 |
| Mars ..... | 98 | 46,9 | 53,1 | 15,3 |
| Avril 1974 ..... | 65 | 50,7 | 49,3 | 25 |
| Juin 1976 ..... | 115 | 53 | 47 | 59,2 |

TABLEAU 3. Répartition des sexes chez *Ocenebra erinacea* (CHERBOURG)

| Station | Effectif | Pourcentage de ♂ | Pourcentage de ♀ | Pourcentage de ♀ à pénis/♀ |
|---|---|---|---|---|
| Cap Lévy ..... | 27 | 37 | 63 | 0 |
| Nacqueville ..... | 70 | 47,8 | 52,2 | 38,8 |
| Anse St-Martin .. | 109 | 44 | 56 | 0 |

TABLEAU 4 : Répartition des sexes chez *Ocenebra erinacea* (Stations du NORD COTENTIN)

2. **Côte méditerranéenne :**

Quelques animaux récoltés en rade de Toulon, à Tamaris, ont pu être examinés en décembre 1972 (3 individus), en mars 1973 (74 individus), en mars 1975 (17 individus). Dans ces trois échantillons, toutes les femelles présentent un pénis.

3. **Côtes de la Manche :**

- *Coutainville :* 2 lots, un de 237 individus, récolté en mars 1973 et un second de 60 individus, récolté en mars 1974, n'ont révélé l'existence d'aucune femelle à pénis dans cette station
- *Stations du nord Cotentin* (Fig. 2). Plusieurs stations situées à l'intérieur et au voisinage de la rade de Cherbourg ont été prospectées .

— dans la rade de Cherbourg, au lieu-dit "La Saline", les femelles à pénis sont présentes dans tous les prélèvements (tableau 3).

— dans des stations situées à l'extérieur de la rade, des prélèvements ont été effectués en juin 1976 (tableau 4).

## CONCLUSION

La présence d'un tractus génital mâle externe chez les femelles d'*Ocenebra erinacea* est liée à la station prospectée. L'apparition du phénomène ne dépend pas de la latitude puisque des femelles à pénis ont été observées aussi bien sur les Côtes de la Manche, de l'Atlantique, qu'en Méditerranée. Ce phénomène est-il lié à un problème de génétique de populations ou à l'action de facteurs écologiques agissant au cours du développement embryonnaire ? Des transplantations d'animaux jeunes et adultes, d'Arcachon en mer de la Manche, sont réalisées actuellement pour tenter de répondre à cette question.

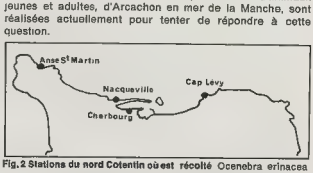



**Fig. 2 Stations du nord Cotentin où est récolté** Ocenebra erinacea

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FERAL C., 1975. — Analyse expérimentale de la morphogénèse et du cycle du pénis chez les femelles d'*Ocenebra erinacea* (L.), espèce gonochorique. *Haliotis*, 6 (sous presse)

FERAL C., 1976. — Etude statistique de la présence d'un tractus génital mâle externe chez les femelles d'un Mollusque Gastéropode gonochorique : *Ocenebra erinacea* (L.). *Cah Biol. Mer.*, 16, 61-76.

# Recherches des paramètres écologiques favorables à l'existence du gastéropode opisthobranche *Acochlidiacea* platyhedyle Salvini - Plawen 1973, dans des sédiments marins des environs de Marseille (France)

*par Claude POIZAT*

Laboratoire de Biologie marine - Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, 13397 Marseille Cedex 4

## RÉSUMÉ

A l'occasion de dragages saisonniers de sédiments dans une quinzaine de stations infralittorales et circalittorales entre Marseille et Cassis (Bouches-du-Rhône - France), en vue d'une étude écologique des Mollusques Gastéropodes Opistnobranches méiobenthiques, nous avons récolté 7 spécimens d'un Gastéropode Opisthobranche appartenant à l'ordre des Acochlidiacea et référables au genre Platyhedyle Salvini-Plawen, 1973. Cette découverte dans 4 seulement des 15 stations étudiées de façon suivie est discutée en fonction de la bathymétrie et des caractéristiques sédimentaires et biologiques des stations ainsi que de l'hypothèse d'une intervention locale de phénomènes de dessalure dus à des résurgences d'eau douce, et aussi en fonction de l'extension de la pollution dans l'ensemble de la région étudiée.

## SUMMARY

*Seasonal samples of sediments inside 15 infralittoral and circalittoral sandy areas between Marseilles and Cassis (Bouches-du-Rhône - France) made it possible for us to collect 7 specimens of an Opisthobranch Gastropod Acochlidiacea, belonging to the genus* Platyhedyle *Salvini-Plawen 1973. The presence of these animals inside 4 stations only is discussed in terms of the bathymetry and the sedimentary and biological features of these stations and also in terms of an hypothetic salinity decreasing due to spring water and in terms of an extension of pollution effects throughout the whole studied region*

## INTRODUCTION

Récolté pour la première fois sur des hauts fonds à sable coquillier (''*Secche della Meloria*'') dans la région de Livourne (Italie), un Mollusque Gastéropode Opisthobranche a été décrit en 1973 sous le nom spécifique *Platyhedyle denudata* Salvini-Plawen 1973, et classé parmi les Acochlidiacea dans une famille propre, *Platyhedyidea* nov. fam. Dans les environs de Marseille, 7 spécimens référables au genre *Platyhedyle* Salvini-Plawen ont été découverts par nous sur des fonds coquilliers infralittoraux et circalittoraux supérieurs dont les caractéristiques physico-chimiques et biologiques sont rassemblées dans un tableau.

### I. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS. MATERIEL ET TECHNIQUES.

Les diverses stations étudiées entre Marseille et Cassis sont reportées sur une carte (Fig. 1), mais les 4 stations à *Platyhedyle* sont signalées par un symbole différent. Ce sont successivement : la passe entre les îles Riou et Plane (17 m de profondeur), le débouché de la calanque de Port-Miou (20 m), le débouché de la calanque de Port-Pin (40 m), et enfin, le débouché de la calanque d'En-Vau (42-45 m).

Les sédiments ont été prélevés soit à la drague ''Charcot'' (Picard, 1965), dont la profondeur de sape dans le type de sable étudié atteint environ 12 centimètres, soit à l'aide de la drague "Spatangue" dont le cadre métallique en forme de *Spatangus* (oursin irregulier) ne fait qu'écrémer les 5 ou 6 centimètres superficiels.

La meiofaune a été séparée du sédiment à l'aide de la technique de Uhlig (in Hulings and Gray, 1971. — Uhlig, 1964, 1966, 1968 — Uhlig et al., 1973) qui, spécialement aménagée (Poizat, 1975), permet le traitement de 8-10 litres de sédiment à la fois

Les Mollusques sont triés et étudiés *in vivo* après coloration légère au rouge neutre. Le reste de la méiofaune (Copépodes, Nématodes, Annélides, etc.) est décompté ultérieurement, après fixation à l'alcool à 70° ou au bouin hollande et coloration au rose bengale.

L'examen succinct du macrobenthos à bord des bateaux et au laboratoire fournit quelques précisions sur les caractéristiques biocénotiques des stations ainsi que sur l'intervention éventuelle de phénomènes de pollution

Des mesures sédimentologiques (granulométries, mesures d'envasement) apportent des informations sur les conditions hydrodynamiques regnant dans les stations

### II. MORPHOLOGIE EXTERNE ET COMPORTEMENT DES *Platyhedyle* (fig. 2 et planche photo).

Comme ceux décrits par Salvini-Plawen (1973), les spécimens récoltés dans les environs de Marseille sont caractérisés par le manque de tentacules, le pied extrêmement réduit et l'incapacité totale pour ces Mollusques de se rétracter dans le sac viscéral du fait de son aplatissement On remarque la présence de deux yeux et de glandes dans tout le tégument rappelant un peu celles observées chez le Gastéropode Opisthobranche Acochlidiacea *Microhedyle glandulifera* Kowalevsky 1901. Deux amas granuleux vert-noirâtre (hépatopancréas ?) courent le long du sac viscéral sous le tégument dorsal, de part et d'autre d'une zone plus claire déprimée. Les spécimens observés ressemblent tout à fait, de par leur mor-

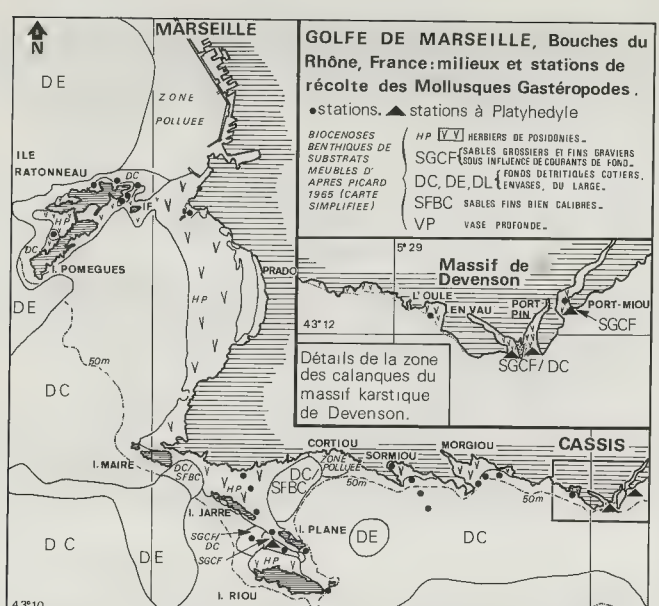



**Figure 1. Stations de prélèvements.**

phologie externe, à l'espèce *Platyhedyle denudata* Salvini-Plawen 1973. En extension, la longueur des *Platyhedyle* récoltés dans les environs de Marseille est, pour les exemplaires successifs : 2,96 mm, 0,76 mm, 4,34 mm, 2,88 mm, 2,80 mm, 1,20 mm et 1,52 mm (cf tableau).

Placés vivants dans des boîtes de Petri remplies d'eau de mer, mais en absence de sable, les *Platyhedyle* adultes se déplacent difficilement et restent le plus souvent couchés sur le côté, leur sac viscéral enroulé (photos 4 à 10). Les petits spécimens gardent leur sac viscéral rectiligne (photo 3), mais se déplacent peu. En présence de sable, tous les *Platyhedyle* récupèrent leur faculté de déplacement. Il semble que ces animaux ont une préférence pour les débris coquilliers plus ou moins tabulaires où ils se maintiennent à l'aide de leur pied collé sur une face et leur sac viscéral enroulé vers l'autre face

III. **ANALYSE DES PARAMETRES ECOLOGIQUES DANS LES STATIONS A *Platyhedyle*. COMPARAISON AVEC LES AUTRES STATIONS** (cf. tableau).

1. Bathymétrie. Les spécimens de *Platyhedyle* ont été récoltés à diverses profondeurs : 17, 20, 40 et 45 mètres. Signalons que *Platyhedyle denudata* Salvini-Plawen a été prélevé entre 3 et 4 mètres de profondeur. Les autres stations étudiées dans les environs de Marseille s'étalent entre 3 et 70 mètres de fond

2 Caractéristiques sédimentologiques. Les récoltes de *Platyhedyle* se sont accomplies dans des sédiments coquilliers calcaires à 95-98 %, sans fractions fines (envasement inférieur à 1,5 %) mais, toutefois, relativement différents du point de vue granulométrique d'une station à l'autre. D'après la classification de Wentworth (in Hulings and Gray, 1971), nous notons successivement .

| STATION | PASSE PLANE RIOU | | | PORT MIOU | | PORT PIN | ENVAU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NUMERO ET DATE DE PRELEVEMENT | 397 29.11.75 | 477 21.6.76 | 496 3.8.76 | 453 | 454 28.5.76 | 457 | 460 28.5.76 |
| PROFONDEUR ET TEMPERATURE | 17 m 15,8°C | 20,8°C | 15°C | 20 m 14°C | 14°C | 40 m 13,9°C | 45 m 13,9°C |
| TYPE DE DRAGUE UTILISEE | CHARCOT | SPA-TANGUE | C H A R C O T | | | | |
| SEDIMENT – ODEUR EVENTUELLE | iodée | | | iodée | | - | - |
| – ASPECT MACROSCOPIQUE | S.T.G. | | | GRANULES | | S.G. | S.G. |
| – PARAMETRES (en mm) $Q_3$ | 2,65 | 2,10 | 2,20 | 3,30 | | 1,80 | 1,59 |
| $Q_2$ (MEDIANE) | 2,30 | 1,45 | 1,70 | 2,70 | | 1,00 | 0,91 |
| $Q_1$ | 1,85 | 1,15 | 1,30 | 2,05 | | 0,72 | 0,65 |
| MODE | 2,25 | 1,40 | 1,40 | 2,85 | | 0,90 | 0,71 |
| – INDICE DE CLASSEMENT | 1,20 | 1,35 | 1,30 | 1,27 | | 1,58 | 1,56 |
| – ENVASEMENT (%) | 0 | 0 | 0 | 1 | | 1,5 | 1,5 |
| – 98% $CaCO_3$ COQUILLIER | | | | | | | |
| BIOCENOSE (MACROBENTHOS) | S . G . C . F. | | | | | S.G.C.F. ± D.C. | |

NOMBRE D'INDIVIDUS POUR 8 LITRES DE SEDIMENT

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Platyhedyle: NOMBRE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ET LONGUEUR DES SPECIMENS | 2,96 mm | 0,76 mm | 4,34 mm | 2,88 mm | 2,80 mm | 1,20 mm | 1,52 mm |
| OPISTHOBRANCHES • HEDYLOPSIS SPICULIFERA | 3 | 4 | 4 | 1 | 6 | 5 | 4 |
| • MICROHEDYLE GLANDULIFERA | 2 | 16 | 15 | 2 | 1 | 36 | 87 |
| • MICROHEDYLE MILATSCHEWITSCHII | 1 | 11 | 7 | 10 | 29 | 16 | 29 |
| • PHILINOGLOSSA HELGOLANDICA | - | 3 | 2 | - | - | 3 | 5 |
| • PHILINOGLOSSA (ABAVOPSIS) SP. | 3 | - | - | - | - | - | - |
| • PHILINE CATENA | 3 | - | 1 | - | - | - | 1 |
| • EMBLETONIA PULCHRA | 4 | - | - | - | 2 | - | - |
| TOTAL | 16 | 34 | 29 | 13 | 38 | 60 | 126 |
| AUTRES MEIOBENTHONTES OU • AMPHIPODES + ISOPODES | 37+19 | 1 | | 90 | 114+46 | 9 | 10 |
| • ANNELIDES POLYCHETES | 157 | 71 | | 378 | 302 | 118 | 190 |
| • ACARIENS – ARACHNIDES | 81 | 68 | | 203 | 331 | 109 | 97 |
| • BIVALVES + CHITONS | 99 + 1 | 56 + 1 | | 34 | 23 + 1 | 5 + 1 | 3 |
| • CAECUM (PROSOBRANCHE) | 64 | 35 | | 354 | 529 | 31 | 9 |
| • COPEPODES | 1760 | 685 | | 1403 | 1383 | 1994 | 1815 |
| • CUMACES + PAGURES | 1 | - | | 1 | 12 | - | 2 |
| • ECHINIDES + ETOILES | 3 | - | | 1 | 2 | - | - |
| • HYDRAIRES | 3 | 1 | | 7 | 4 | - | - |
| • NEMATODES | 290 | 275 | | 564 | 629 | 865 | 1741 |
| • NEMERTES | 121 | 7 | | 112 | 111 | 75 | 145 |
| • OSTRACODES | 400 | 200 | | 378 | 574 | 79 | 141 |
| • OPHIURES | 245 | 5 | | 40 | 81 | 5 | 1 |
| • PROSOBRANCHES DIVERS | 79 | 25 | | 72 | 113 | 7 | 1 |
| • SIPONCULIDES | 1 | 60 | | 3 | 9 | 6 | 5 |
| • TURBELLARIES | 20 | 1 | | 16 | 11 | 15 | 23 |
| • TANAIDACES | 13 | 2 | | 6 | 11 | 2 | - |
| TOTAL | 3394 | 1493 | | 3662 | 4376 | 3321 | 4183 |

ABBREVIATIONS : S.G. = SABLE GROSSIER – S.T.G. = SABLE TRES GROSSIER – S.G.C.F. = SABLE GROSSIER ET FIN GRAVIER SOUS INFLUENCE DE COURANTS DE FOND – D.C. = DETRITIQUE COTIER.

des Sables Très Grossiers = S.T.G. mêlés à des granules (Prélèvement 397), des Sables Très Grossiers (477 et 496), des Granules (453-454) et des sables plus ou moins grossiers (457 et 460). Les différents paramètres et indices granulométriques reflètent l'influence de puissants courants de fond dans les stations peu profondes (Riou et Port-Miou). Par rapport à ces dernières, l'augmentation de la bathymétrie (Port-Pin et En-Vau) s'accompagne d'une décroissance de la puissance des courants, comme l'indiquent la diminution de taille des particules sédimentaires et l'augmentation de l'hétérogénéité du sable (indice de classement croissant). Signalons enfin que, bien que plus profonde que celle de Riou (17 m), la station de Port-Miou (20 m) est, de par son orientation face au vent de secteur Est, hydrodynamiquement plus exposée et lessivée par les courants (Poizat, 1969 et 1971), ce qui explique les dimensions plus importantes des particules (sédiment constitué par une majorité de granules).

Dans les autres stations, les séciments sont en général également tres peu envasés, parfois un peu plus (archipel Pomègues-Ratonneau-If, débouché des calanques de Sormiou et de Morgiou), et au moins aussi grossiers et homogènes que ceux d'En-Vau et de Port-Pin. On tient aussi ici de bons indices de courants de fond.

3. Caractéristiques biocénotiques des Stations à *Platyhedyle* (cf. carte et tableau). Nous avons noté la présence d'un certain nombre d'espèces macrobenthiques caractéristiques exclusives (Picard, 1965) :

a) soit de la biocénose des Sables Grossiers et Fins Graviers sous influence de Courants de Fond (abréviation = S. G. C. F.) dans les stations de Riou et de Port-Miou (prélèvements 397, 477, 496, 453 et 454) : le Poisson *Gymammodytes cicerelius* Rafinesque, l'Amphioxus *Branchiostoma lanceolatum* (Pallas), le Pélécypode *Psammobia costulata* Turton,

b) soit de la biocénose du Détritique Côtier (D. C.) : les Pélécypodes *Cardium papillosum* Poli et *Laevicardium oblungum* (Chemnitz) et les Annélides Polychètes *Hermione hystrix* (Savigny) et *Hyalinoecia tubicola* (O.-F. Müller) au debouché des calanques d'En-Vau et de Port-Pin,

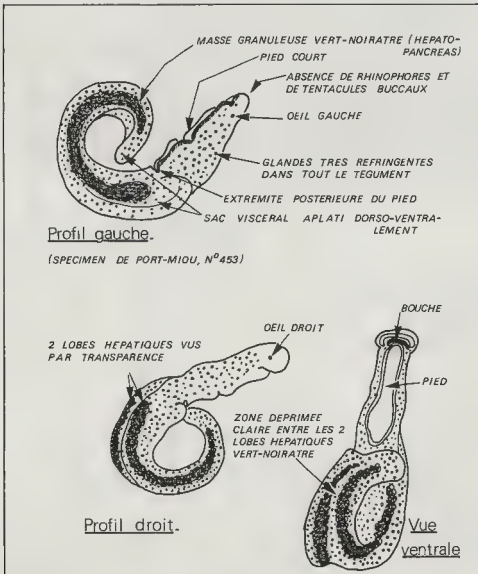
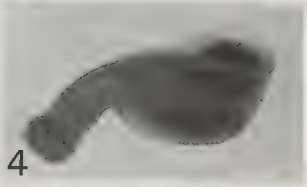


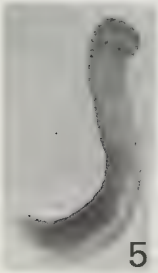

**Figure 2_ Morphologie externe d'un Platyhedyle Salvini-Plawen**

1

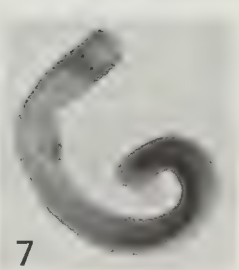
2

3

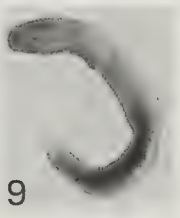

4


5

6


7

8


9

10

c) et enfin la présence, parfois en grand nombre, des Echinodermes *Spatangus purpureus* (O.-F. Müller) et *Sphaerechinus granularis* (Lamarck), espèces caractéristiques préférentielles de la biocénose des S.G.C.F., dans les quatre stations à *Platyhedyle*.

Dans les autres stations, notamment celles de l'archipel Pomègues-Ratonneau-If, la biocénose du D.C. montre de nets indices de pollution et la biocénose des S.G.C.F. n'est représentée le plus souvent que par les Echinodermes cités plus haut. Au nord de l'île Jarre, on relève aussi une dégradation de ces biocénoses et le sédiment dégage souvent une odeur nauséabonde.

4. Les Opisthobranches méiobenthiques des stations à *Platyhedyle* (cf. tableau). Le nombre des Gastéropodes Opisthobranches accompagnant les *Platyhedyle* s'accroît avec la bathymétrie et corrélativement avec la diminution de taille des particules sédimentaires. Ce sont : *Hedylopsis spiculifera* Odhner 1937, *Microhedyle glandulifera* (Kowalevsky), 1901, *Microhedyle milaschewitschii* Kowalevsky 1901, *Philinoglossa helgolandica* Hertling 1932, *Philinoglossa* (*Abavopsis* Salvini-Plawen 1973) sp., *Philine catena* (Montagu) 1803-8. *Embletonia pulchra* Alder et Hancock 1851

Ces espèces ont en général été recoltées dans la plupart des autres stations, souvent en quantité plus importante, que ce soit à l'intérieur du Golfe de Marseille (Pomègues - Ratonneau - If), avec des valeurs pouvant aller jusqu'à 206 Gastéropodes Opisthobranches pour huit litres de sédiment, qu'à l'extérieur (Sormiou, Morgiou, l'Oule, nord de l'île Jarre), avec des valeurs pouvant varier de 90 à 120 Mollusques Gastéropodes Opisthobranches pour 8 litres de sable

5. La méiofaune totale des stations à *Platyhedyle* (cf tableau). La méiofaune est caractérisée par la prédominance de quelques groupes avec des fluctuations d'une station à l'autre : prédominance des Copépodes dans les 4 stations à *Platyhedyle*, augmentation du stock de Nématodes avec la bathymétrie. On remarque l'abondance du Prosobranche du genre *Caecum* (Montagu) dans les sédiments granuleux de Port-Miou. La méiofaune totale des stations à *Platyhedyle* ne dépasse pas 4 500 individus pour 8 litres de sédiment

Dans les stations situées à l'intérieur du Golfe de Marseille (Pomègues - Ratonneau - If), il y a toujours prédominance des Copépodes (jusqu'à 6 000 individus pour 8 litres de sédiments), mais aussi un stock très important de Nématodes (jusqu'à 2 000 individus) et d'Annélides Polychètes (jusqu'à 3 500 individus) dont certaines sont indicatrices de pollution : stades jeunes d'*Audouinia tentaculata* (Montagu), que l'on rencontre également dans les stations situées au nord de l'île Jarre. Enfin, des symptômes analogues de pollution sont décelés dans les stations de Sormiou, Morgiou et l'Oule. La méiofaune totale varie dans toutes ces zones entre 5 000 et 10 000 individus pour 8 litres de sédiment.

En revanche, aucun indice de pollution n'est jusqu'à présent relevé dans les 4 stations à *Platyhedyle* et où le sédiment dégage (Riou et Port-Miou) une forte odeur iodée, signe supplémentaire, si besoin est, de très forts lessivages par les courants de fond

## IV. ESSAI D'INTERPRETATION DES RESULTATS ET DES OBSERVATIONS.

La recherche des conditions de vie des *Platyhedyle* est assez délicate à aborder. En effet, contrairement à la plupart des autres Gastéropodes Opisthobranches méiobenthiques cités plus haut et qui ont une présence assez constante dans de nombreuses stations, les *Platyhedyle* n'ont fait que des apparitions sporadiques dans 4 stations seulement. Il est difficile dans ce cas de rattacher leur présence à tel ou tel paramètre physico-chimique du sédiment ou de l'eau de mer

Un fait important semblait d'emblée pouvoir être considéré : la localisation de 3 des 4 stations à *Platyhedyle* (Port-Miou, Port-Pin et En-Vau) au voisinage de résurgences d'eau douce en provenance du massif de Devenson (Gillet, 1956 - Corroy et al., 1958 - De Gaillande, 1968). Dans ces stations, 4 prélèvements seulement parmi une vingtaine d'autres avaient permis la capture des *Platyhedyle* (tableau) alors que près de 300 prélèvements éche-

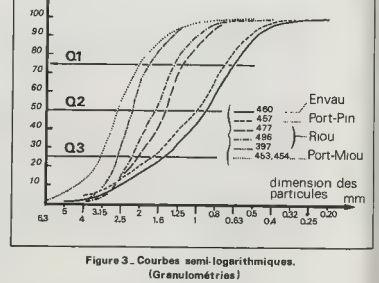



**Figure 3 - Courbes semi-logarithmiques. (Granulométries)**

lonnés sur 3 années environ dans les autres zones sont restés stériles. L'hypothèse selon laquelle des phénomènes de dessalure pouvaient par conséquent intervenir au niveau de ces fonds a été envisagée pour expliquer la présence si localisée des *Platyhedyle*. La récolte de 6 des 7 exemplaires de *Platyhedyle* à l'aide de la drague "Charcot" incitait à penser que ces animaux vivent relativement enfouis dans la masse sédimentaire, le plus près possible des arrivées d'eau douce qui s'exercent par le fond dans la calanque de Port-Miou (Corroy et al., 1958). Toutefois, un des *Platyhedyle* (prélèvement 477) a été récolté dans le « film sédimentaire » superficiel (drague "Spatangue"), et, de plus, dans la station de Riou où aucune espèce macrobenthique indicatrice de dessalure n'a jamais été signalée (com. orale de J. Picard), bien que des sorties d'eau douce aient été observées en

---

**Photo n° 1 :**

Platyhedyle, *prélèvement 453, longueur 2,88 mm en extension, profil gauche, photographié après fixation au bouin hollande sous anesthésie au Nembutal (1 g/l d'eau de mer), conservation dans l'alcool 70° puis coloration au rose bengale*

**Photo n° 2 :**

*Même exemplaire en vue ventrale.*

**Photo n° 3 :**

Platyhedyle, *prélèvement n° 477, longueur 0,76 mm en extension, profil gauche, photographié dans les mêmes conditions que l'exemplaire 453*

**Photos n°s 4 à 10 :**

Platyhedyle, *prélèvement n° 496, longueur 4,34 mm en extension, photographié vivant, légèrement coloré au rouge neutre. Les différentes photos montrent l'animal dans ses contorsions désordonnées pour se déplacer en absence de sédiment.*

plongée à l'Ile Jarre (com .orale) ainsi qu'à proximité de Riou

Dans un autre ordre d'idées, le groupement des récoltes de *Platyhedyle* dans une aire géographique restreinte qui correspond à des fonds lessivés notablement par les courants (Poizat, 1969 et 1971), comme le montrent les résultats sédimentologiques et les données biocénotiques, peut aussi amener à penser que ces *Platyhedyle* sont des animaux de milieux relativement purs. Contrairement aux autres Gastéropodes Opisthobranches méiobenthiques cités dans ce travail, ils ne s'accommodent pas des fonds pollués de l'archipel Pomègues - Ratonneau - If, à proximité immédiate des ports et de la ville, ni des fonds situés au nord de l'Ile Jarre, pas plus qu'au debouché des calanques de Sormiou et de Morgiou et où, malgré l'existence de courants, le niveau de pollu-

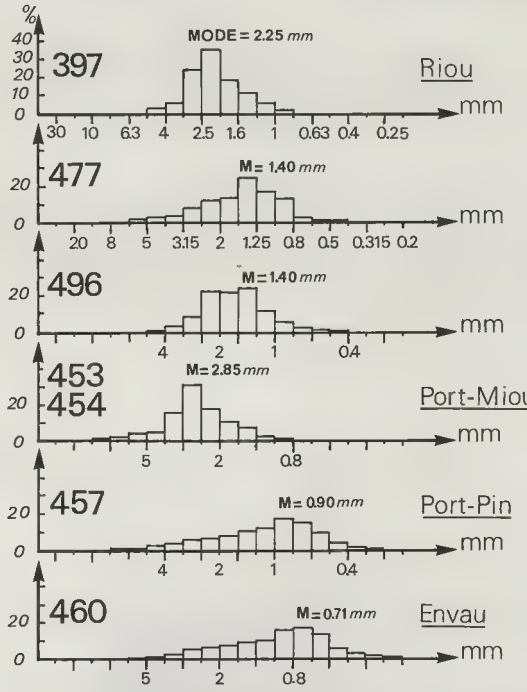



**Figure 4 _ Histogrammes de Fréquence (Granulométries)**

tion a atteint des degrés trop importants (proximité de l'égout de Cortiou).

En définitive, la localisation géographique des *Platyhedyle* peut s'interpréter comme étant le résultat soit d'une exclusion hors des zones gagnées par la pollution et où les courants sont insuffisants pour en atténuer les effets, soit d'une inféodation à un milieu dessalé. Dans l'immédiat, et bien que d'autres recherches soient nécessaires pour vérifier l'hypothèse de la dessalure, l'explication par une intervention de la pollution semble mieux correspondre aux diverses données et résultats écologiques, mais les modalités de cette intervention devront être approfondies.

## CONCLUSIONS

La présence dans la région de Marseille du Mollusque Gastéropode Opisthobranche Acochlidiacea du genre *Platyhedyle* Salvini-Plawen 1973 est signalée pour la première fois sur les côtes françaises de la Méditerranée.

Les spécimens récoltés, au nombre de 7, sont très semblables de par leur morphologie externe à l'espèce *Platyhedyle denudata* Salvini-Plawen 1973 de Livourne, Italie, et certainement référables à cette espèce.

L'hypothèse selon laquelle des conditions favorables à la vie du *Platyhedyle* seraient créées par des phénomènes de dessalure localisés est abandonnée. Le groupement des points de récoltes semble plutôt devoir être rattaché à la situation géographique et topographique particulière des 4 stations à *Platyhedyle*, qui favorise un hydrodynamisme encore suffisant pour y atténuer les effets d'une pollution qui tend à se généraliser dans l'ensemble des zones étudiées dans ce travail.

Cette explication permet de comprendre du même coup l'absence des *Platyhedyle* dans les autres stations pourtant riches en Mollusques Gastéropodes Opisthobranches Acochlidiacea (*Hedylopsis, Microhedyle*) et Philinoglossacea, et où les courants semblent soit insuffisants pour diminuer les effets d'une pollution très accusée et en extension, soit d'intensité élevée, mais s'exerçant sur des fonds où le taux de pollution est devenu excessif.

## TRAVAUX CITÉS


CORROY G., GOUVERNET C., CHOUTEAU J., SIVIRINE A., GILET R. et PICARD J., 1958 — Les résurgences sous-marines de la région de Cassis. *Bull. Inst. océanogr. Monaco* (1131), p. 1-35.

GAILLANDE D. (de), 1968 — Monographie des peuplements benthiques d'une calanque des côtes de Provence : Port-Miou. *Rec. Trav. St. mar. Endoume* 44 (60), p. 358-401

GILET R., 1956. — Note sur la thermométrie de la calanque de Port-Miou. *Rec. Trav. St. mar. Endoume* 18 (11), p. 97-103.

HULINGS N. C. and GRAY J.S., 1971. — A manual for the study of meiofauna *Smithson. Contr. Zool. 78, p. 1-83.*

PICARD J., 1965. — Recherches qualitatives sur les biocoenoses de substrats meubles draguables de la région marseillaise *Rec Trav. St. mar. Endoume* 52 (36), p. 1-60

POIZAT C., 1969. — Le débouché des calanques entre Marseille et La Ciotat : Etude des peuplements et des sédiments. *Rec. Trav. St mar. Endoume* 61 (45), p. 367-406

POIZAT C., 1971. — Etude préliminaire des Gastéropodes Opisthobranches de quelques sables marins du golfe de Marseille. *Téthys* 3 (4), p. 879-896

POIZAT C., 1975. — Technique de concentration des Gastéropodes Opisthobranches mésopsammiques marins en vue d'études quantitatives *Cahier de Biologie Marine* 16, p. 475-481.

SALVINI-PLAWEN L.V., 1973. — Zur Kenntnis der *Philinoglossacea* und der *Acochlidiacea* mit *Platyhedylidae* fam. nov. *(Gastropoda, Cephalaspidea), Sonderdruck aus Z. f. zool Systematik u. Evolutionsforschung* 11 (2), p. 110-133.

UHLIG G., 1964. — Eine einfache Methode zur Extraktion der Vagilen, mesopsammalen Mikrofauna. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 11, p. 178-185

UHLIG G., 1966. — Untersuchungen zur Extraktion der vagilen Mikrofauna aus marinen Sedimenten. *Zoologischer Anzeiger*, suppl. band 29, p. 151-157.

UHLIG G., 1968. — Quantitative methods in the study of interstitial fauna. *Trans. Amer. Microsc. Soc.* 87 (2), p. 226-232

UHLIG G., THIEL H. and GRAY J.S., 1973. — The quantitative separation of meiofauna. A comparison of methods. *Helgoländer wiss. Meeres* 25, p. 173-195.

## Etude de gastéropodes nudibranches de la lagune du Brusc (Var)

# I. - Influence des facteurs du milieu sur la biologie de trois espèces de nudibranches : *Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana, Favorinus branchialis*

*par Alain RIVA et Nardo VICENTE*

Laboratoire de Biologie marine, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme - 13013 Marseille (France), et Fondation scientifique Ricard, Observatoire de la mer, Ile des Embiez, Le Brusc - 83140 Six-Fours-les-Plages (France)

### RÉSUMÉ

Trois espèces de Nudibranches ont été observées dans une zone bien délimitée de la lagune du Brusc, à faible profondeur sous des blocs de pierres. Cette localisation dans le secteur méridional de la lagune est liée aux conditions du milieu, et, en particulier, la température qui semble conditionner en grande partie le cycle biologique de ces trois espèces.

Le développement optimal de *Spurilla neapolitana* est situé vers 20°, mais cette espèce se développe également entre 10° et 20°, de même que *Aeolidiella alderi* dont le développement optimal est compris entre 20° et 22°.

*Favorinus branchialis* ne semble pas apprécier les températures élevées ; au-delà de 20° apparaissent chez l'animal des signes de malaise. A 28° cette espèce meurt.

Aux basses températures (+ 4°C), seule *Favorinus branchialis* résiste bien.

En conséquence, en hiver, seuls les stades juvéniles de ces espèces peuvent être rencontrés ; les individus matures ont leur maximum de reproduction en avril, mai et juin, dans les secteurs correspondant aux températures favorables à cette reproduction.

### SUMMARY

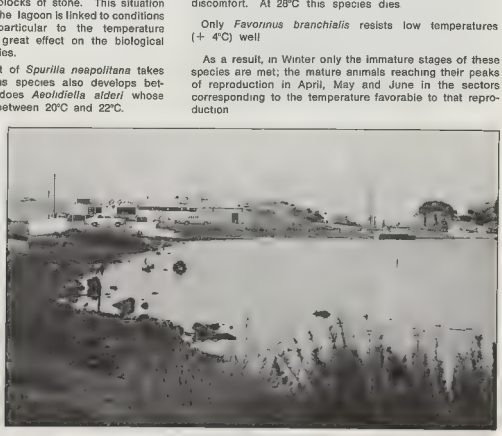
Three species of Nudibranchs were observed in a region well separated from the rest of the lagoon of Brusc, shallow and under blocks of stone. This situation in the southern sector of the lagoon is linked to conditions of the environment, in particular to the temperature which appears to have a great effect on the biological cycle of these three species.

The optimal development of *Spurilla neapolitana* takes place around 20°C but this species also develops between 10°C and 20°C as does *Aeolidiella alderi* whose optimal development lies between 20°C and 22°C.

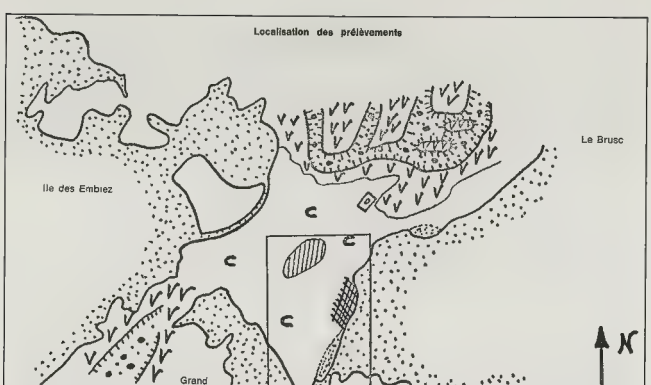
*Favorinus branchialis* does not appear to like high temperatures; From 20°C upward the animal shows signs of discomfort. At 28°C this species dies.

Only *Favorinus branchialis* resists low temperatures (+ 4°C) well.

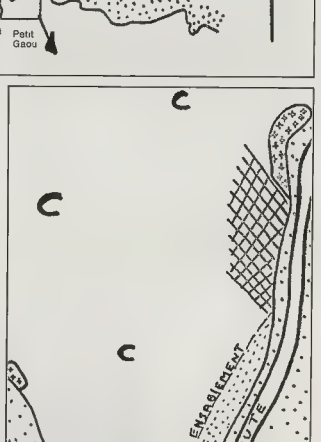
As a result, in Winter only the immature stages of these species are met; the mature animals reaching their peaks of reproduction in April, May and June in the sectors corresponding to the temperature favorable to that reproduction.



Lagune du Brusc
Zone de prélèvements.




- Sable de chenaux intermattes
- Sable vaseux à Cymodocées
- Banc de sable superficiel
- Zostères (**Zostera nana**)
- Herbier de posidonies
- Zone de prélèvement d'**Aeolidiella alderi**
- Zone de prélèvement commune à Ae. alderi et **Spurilla neapolitana**
- Zone de prélèvement de **Favorinus albus**
- Passe




L'étude de la biologie des Gastéropodes Nudibranches a apporté de nombreux éclaircissements sur la systématique de cet ordre. Elle a permis de constater que suivant la nature du biotope et de la nourriture, l'aspect d'une même espèce peut différer (Tardy, 1969).

## I. LOCALISATION DES ESPECES :

Nous avons pu récolter dans le secteur méridional de la lagune du Brusc comprenant toute la poche délimitée par l'île du Grand-Gaou et le littoral continental, trois espèces de Nudibranches : *Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana* et *Favorinus branchialis*. Dans cette zone, la hauteur d'eau varie au cours de l'année en fonction des courants et de la température ambiante (10 à 20 cm), si bien que par mauvais temps (tempêtes de sud-est) il est difficile de récolter ces animaux. Pour les trouver, il est nécessaire de retourner de nombreuses pierres ou blocs de pierres qui sont posés ou légèrement enfoncés dans le sédiment meuble de la lagune du Brusc où croît la pelouse à Cymodocée (*Cymodocea nodosa*).

Vers le mois de janvier, on rencontre peu d individus Ce sont des stades juvéniles. Les individus de grande taille (matures) se rencontrent durant les mois d'avril, mai et juin, et l on peut constater, alors, les pontes qui adhèrent aux blocs de pierres.

*Favorinus branchialis* apparaît assez tardivement dans l'année par rapport aux deux autres espèces. C'est l'espèce la plus méridionale, localisée tout à fait au niveau de la passe Nous n'avons jamais récolté d'invividus plus à l'intérieur de la lagune. Les individus sont peu abondants. *Spurilla neapolitana* a une zone de répartition également limitée, mais elle pénètre plus à l'intérieur dans la lagune. Les individus sont abondants.

*Aeolidiella alderi* a, quant à elle, une répartition plus importante, mais elle est localisée surtout en bordure de côte, dans des zones caillouteuses peu envasées et les individus sont abondants

Ces trois espèces ne sont pas largement répandues dans la lagune (cf. carte de prélèvements)

Au contraire, un autre Gasteropode opisthobranche, *Aplysia punctata*, se rencontre dans toute la lagune, sauf précisément dans la zone la plus méridionale (N. Vicente, 1974)

**Les facteurs du milieu :**

Divers facteurs peuvent intervenir sur la répartition de ces espèces

Compte tenu des conditions exceptionnelles de la sédimentation, la baie du Brusc présente un vaste plan d'eau dont la profondeur excède rarement un mètre cinquante, avec des fonds colonisés par des peuplements de Phanérogames marines (*Posidonia oceanica, Cymodocea nodosa, Zostera nana*).

Des études physico-chimiques des différents sols caractéristiques de ces pelouses ont été réalisées (Molinier, Deguen, 1960, Deguen, 1961) et les recherches d'ordre pédologique ont été doublées d'études concernant les biocoenoses (Molinier et Picard, 1951, Ledoyer, 1962)

La lagune constitue un écosystème dont l'ambiance climatique est particulière

Les eaux étant peu profondes, elle est soumise à des variations de facteurs (en particulier de température) plus marqués qu'en milieu marin. Ceci explique la faible diversité des espèces rencontrées, mais leur pullulation, en raison d'une adaptation à un ensemble de conditions particulièrement sévères

La bordure littorale est soumise à de grandes variations des facteurs écologiques déterminants : température, oxygénation, salinité, principalement

La zone concernée par les prélèvements se situe dans le secteur méridional de la lagune comprenant toute la poche délimitée par l'île du Grand Gaou et le littoral continental.

Sont à exclure deux zones situées, l'une au sud, dans une anse localisée sur le rivage nord de l'île du Gaou, l'autre à l'est, contre le rivage continental (cette dernière se découvre légèrement en été et est conséquente à la construction de la route littorale).

L'étude de cette zone de prélèvements, par l'analyse des différents facteurs du milieu (pH, salinité, température, matières organiques) est importante, car ils peuvent varier tout au long de l'année

**La température :**

Dans cette zone de prélèvements, entre septembre et mai, les variations journalières de la température en surface et en profondeur ne sont pas très accusées. Durant la période estivale, elles sont, par contre, très accentuées. Dans l'épaisseur du sédiment, les variations de température vont de pair avec celles de l'eau, bien qu'elles soient nettement inférieures

Les phénomènes de réchauffement et de refroidissement saisonniers et journaliers sont d'autant plus marqués que le plan d'eau est faible et la durée d'insolation plus étendue. Ceci est fortement valable pour les zones de bordure

Cette zone méridionale est la plus abritée. La température thermique annuelle est donc très forte.

En hiver, la température peut descendre jusqu'à 6°C et, en été, monter jusqu'à 32-34°C.

Les variations de température sont également fonction des courants. Par mistral et vents d'ouest, les eaux du

**Fig. 1 — Spurilla neapolitana (individu de 45 mm)**

large pénètrent à l'intérieur de la lagune qui est bien protégée au nord par le récif-barrière de posidonies.

Comme cela a déjà été signalé, la passe située entre l'île des Embiez et le Grand-Gaou permet la pénétration des eaux vers les zones septentrionales et vers le sud.

Une deuxième passe, située entre le Grand-Gaou et le littoral, la plus intéressante puisqu'elle débouche directement dans la zone de récoltes, facilite aussi dans une certaine mesure la pénétration des eaux du large

Ces courants affectent plus particulièrement les températures de surface. Ils sont atténués en profondeur et ils s'estompent au niveau du sédiment où les variations de température qu'ils provoquent sont plus lentes a se manifester

Les variations de température annuelles observées dans la zone méridionale permettent d'approcher les maxima et les minima de l'année

**Fig. 2 — Aeolidiella alderi (individu de 25 et 30 mm)**

| | | Matin | Soir |
|---|---|---|---|
| SURFACE | Maximum | 32° | 34° |
| | Minimum | 6°5 | 7°5 |
| PROFONDEUR | Maximum | 31° | 34° |
| | Minimum | 6° | 7° |
| SEDIMENT | Maximum | 27° | 28°5 |
| | Minimum | 6°5 | 8° |

Pour ce qui nous concerne, on peut considérer uniquement la température au niveau du sédiment, puisque les animaux étudiés vivent, la plupart du temps, sous les pierres durant la journée.

Le développement optimal des *Aeolidiella alderi* est compris entre 20 et 22°, bien qu'il puisse être observé également entre 10° et 20°

La reproduction de *Spurilla neapolitana* a lieu vers 20°, mais cette espèce se développe également entre 10° et 20°.

*Favorinus branchialis* ne semble pas apprécier les températures élevées ; au-delà de 20° apparaissent chez l'animal des signes de malaise. Il se replie sur lui-même, le tégument se gonfle par endroits A 28°, cette espèce meurt ; *Spurilla neapolitana* survit difficilement et *Aeolidiella alderi* semble résister mieux

Aux basses températures, seul *Favorinus branchialis* résiste bien. A + 4°C nous avons observé que *Aeolidiella* et *Spurilla* n'étaient plus vivantes, alors que *Favorinus* continuait à se déplacer sur les parois de l'aquarium, bien que très lentement

En résumé, *Spurilla* et *Aeolidiella* résistent assez bien aux variations de température entre 10 et 22°. Quant à *Favorinus*, une température supérieure à 20° entraîne rapidement sa mort

Nous pensons qu'*Aeolidiella* a pu s'introduire plus à l'intérieur dans la lagune et sur les bordures littorales, du fait de sa plus grande résistance à la chaleur et son optimum de reproduction entre 20 et 22°C. Sa localisation se situant dans des secteurs bien distincts des deux autres espèces, la nature du sédiment peut sans doute intervenir.

Pour *Spurilla*, le facteur température ne semble pas être un handicap à sa progression entre 10 et 22°. Au-dessous et au-dessus, la survie de l'espèce est précaire. Ces deux espèces se reproduisent et se maintiennent normalement dans la lagune entre le mois d'avril et de ,uin

Pour *Favorinus*, la progression est arrêtée au niveau de la passe car cette espèce résiste mal aux températures supérieures à 20°. Au niveau de la passe, les variations de température sont faibles, les eaux de la lagune étant en contact direct avec les eaux fraîches du large Il est possible aussi que d'autres facteurs limitent la progression de cette espèce

Effets de la température sur la reproduction et la mortalité des trois Espèces :

| | Espèce | Reproduction | | Mortalité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 10° - 20° | 20° - 22° | 4° - 6° | 28° - 30° |
| ++++ : effet optimal. | Aeolidiella alderi ..... | ++ | ++++ | ++++ | + |
| +++ : » très important. | Spurilla neapolitana ..... | +++ | +++ | ++++ | +++ |
| ++ : » important. | Favorinus branchialis .... | ++++ | + | 0 | ++++ |
| + . » médiocre. | | | | | |
| 0 : » nul. | | | | | |

**La salinité :**

Les mesures ont été réalisées au niveau de la passe légèrement vers l'intérieur, et sur la côte est, bien après la pelouse à *Zostera nana*.

La salinité la plus importante est constatée dans les limites proches de la passe (36 ‰) et la plus basse dans les zones les plus éloignées, ainsi que sur la côte est (34 ‰).

Cette baisse de salinité à l'intérieur de la poche par rapport à la passe s'explique par les apports d'eau douce continentaux.

Vayssière (1885) avait noté que *Favorinus* fréquentait les eaux un peu saumâtres et n'affectionnait pas l'eau souvent renouvelée. Il semble qu'ici ce ne soit pas le cas, puisqu'il existe un courant au niveau de la passe et que la salinité est normale

**Le pH :**

Les mesures du pH ont été effectuées dans la zone principale de prélèvement. Les valeurs étaient peu différentes d'un point à un autre et oscillaient entre 6,9 et 7,1, soit des valeurs inférieures par rapport au pH de l'eau de mer, qui se situe autour de 8.2

Cependant ces valeurs, voisines de la neutralité, ne semblent pas gêner les trois espèces

De ces trois facteurs, c'est certainement la température qui apparaît comme la plus importante et elle conditionne le cycle reproducteur des trois espèces. Mais il faut également envisager l'influence possible de facteurs non étudiés sur la répartition des espèces dans le milieu (granulométrie du sediment, composition chimique, microbiologie, éclairement, etc.) : une étude plus detaillee des biotopes est envisagée

Une recherche plus précise sur les conditions annuelles du milieu déterminera, pour chaque espèce, les facteurs limitants

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


DEGLEN F. et MOLINIER R., 1961. — Etudes écologiques et biocénotiques dans la baie du Brusc (Var). II - Les sols phanérogamiques de la formation lagunaire du Brusc. *Bull. Inst. Oceanog.* Monaco, 1187, p. 1-50

LEDOYER M., 1962. — Etude de la faune vagile des herbiers superficiels de Zostéracées et de quelques biotopes d'algues littorales. Thèse de 3e cycle. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume* Marseille, 29 (39) p. 117-235

MOLINIER R. et PICARD J., 1951. — Biologie des herbiers de Zostéracées des côtes françaises de la Méditerranée. *C. R. Acad. Sci.* Paris, 233, p. 1212-1214

MOLINIER R., 1961. — Etudes écologiques et biocénotiques dans la baie du Brusc (Var) - Généralités. But des recherches. *Bull. Inst. Océanog.* Monaco, 1194, p. 1-6

VAYSSIERE A., 1885 — Recherches zoologiques et anatomiques sur les Mollusques Opisthobranches du golfe de Marseille. *Ann. Mus. Hist. Nat. Marseille*, III, p. 1 - 160

VICENTE N., 1974. — Intérêt écologique de la lagune du Brusc. *Suppl. 1, Bull. n° 1, Observatoire de la Mer*, p. 1-12.


Fig. 3 — Favorinus branchialis (individus de 3 mm)

# Observations écologiques et biologiques sur le *Volutidae* antarctique *Harpovoluta charcoti* (Lamy, 1910) (*Gastropoda prosobranchia*)

*par Patrick M. ARNAUD*

Station marine d Endoume, 13007 Marseille

## RESUMÉ

Un abondant matériel d'*Harpovoluta charcoti* des abords de la péninsule antarctique a montré qu'*H. vanhoeffeni* Thiele, 1912, en était synonyme et a permis de préciser la distribution géographique et bathymétrique et l'écologie de cette espèce qui est le *Volutidae* vivant le plus austral. Des observations sont présentées sur sa reproduction, son régime alimentaire et son association constante avec une actinie, *Isosicyonis alba* (Studer, 1879) La signification adaptative de ces particularités est mise en évidence

## SUMMARY

A rich material of *Harpovoluta charcoti* from the vicinity of the Antarctic peninsula, showing that *H. vanhoeffeni* Thiele, 1912 is a junior synonym, provides new informations on the geographic and bathymetric distribution as well as on the ecology of this Volutidae which is the soutnernmost living representative of this family. New data on the reproduction, on the diet, and on the association between *H. charcoti* and the Actinian *Isosicyonis alba* (Studer, 1879) are presented The adaptive significance of these peculiarities is pointed out

*Harpovoluta charcoti* (Lamy, 1910) appartient à un genre monospécifique de la famille des Volutidae : en effet, l'examen de l'abondant matériel que j'ai eu à ma disposition m'a convaincu qu'*H. vanhoeffeni* Thiele, 1912, et sa variété *striatula* n'en étaient que des synonymes. Comme je le suggérai déjà en 1972, les différences de forme et ornementation des coquilles ne sont pas spécifiques, mais correspondent à des variations individuelles courantes De plus, Eales (1923), victime d'un artefact, a figuré la base des dents radulaires d'*H. charcoti* convexe au lieu de concave (cf. Vayssière, 1917, pl. 4, fig. 52 et 55, contrôlées sur le présent matériel). Ainsi s'explique que Powell (1959) ait hésité à référer son matériel à *H. charcoti* ou à *H vanhoeffeni*

## I. DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE ET BATHYMETRIQUE. ECOLOGIE.

### a) Nouveau matériel.

J'ai identifié *H. charcoti* dans divers prélèvements des Expéditions antarctiques argentines et des Expéditions antarctiques chiliennes, et étudié, souvent *in vivo*, les spécimens de la campagne océanographique 1972 du R/V Hero (National Science Foundation, Washington) en péninsule Antarctique, à laquelle j'ai participé.

- Expéditions antarctiques argentines : Paradise Harbor, Bellisio et Torno coll. : sta. 15, 140 m, 3 spécimens ; sta. 17, 95 m, 18.12.1971, 1 spéc. ; sta 19, 115 m, 20.1. 1971, 1 spéc. — Half Moon I., South Shetland Is., 40 m, plongée, 1.1966, 1 spéc. — Melchior I., 50 m, plongée, 18.1.1969, 1 spéc.
- Expéditions antarctiques chiliennes : sta. 70-39, English strait, 325 m, chalut, 16.12.1969, 5 spéc
- Campagne océanographique du R/V Hero, dirigée par J.H. Dearborn (1972) : 14 stations dans Arthur Harbor (Anvers I., Palmer archipelago) et au voisinage (sta 3-6, 23, 31, 40, 49-50, 68, 79, 90-91 et 97), 45-460 m, 53 spéc. ; 1 station au large d'Argentine Is. (sta. 96), 310-355 m, 2 spéc., 2 stations au S et à l'E d'Adelaide I (sta. 12-13), 580-630 m, 9 spéc.

### b) Distribution résultante. Ecologie

La distribution de l'espece est reprécisée ici compte tenu de la mise en synonymie d'*H. vanhoeffeni* avec *H. charcoti*, et du nouveau matériel précité.

Localité type : King George I., Admiralty bay, South Shetland Is., 420 m. (Lamy, 1910). Espèce circumantarctique qui se trouve être le Volutidae le plus austral : South Shetland Is., extrémité de la péninsule Antarctique, Melchior archipelago, Arthur Harbor et voisinage, Argentine Is et SW Adelaide I. ; terres de Kemp, MacRobertson, Wilhelm II, Queen Mary et George V

Connue de 39 à 630 m, sur les fonds rocheux ou plutôt de mélange de blocs (ou de graviers) et de vase, donc peu chalutables, ce qui explique peut-être la relative rareté des récoltes au cours des expéditions antarctiques classiques. Les peuplements de ces fonds mixtes sont à dominante de formes fixées (Cnidaires, spongiaires, bryozoaires) et d'Echinodermes. La large sole pedieuse d'*H. charcoti* (j'ai observé les dimensions extrêmes suivantes : 11 × 6 cm : cf. fig. 1-3) lui permet de se déplacer aussi bien sur vase que sur roche.

Contrairement à beaucoup de Volutidae, *H. charcoti* n'est pas une espèce fouisseuse, et son association avec une actinie est ainsi possible.

## II. PARTICULARITES BIOLOGIQUES D'*HARPOVOLUTA CHARCOTI*.

### a) Association avec une actinie.

*H. charcoti* peut atteindre une grande taille : Hedley (1916) cite un individu ayant une coquille de 75 mm de longueur, tandis que la longueur maxima observée dans le présent matériel est de 57 mm C'est le plus gros gastéropode prosobranche des eaux antarctiques pro-

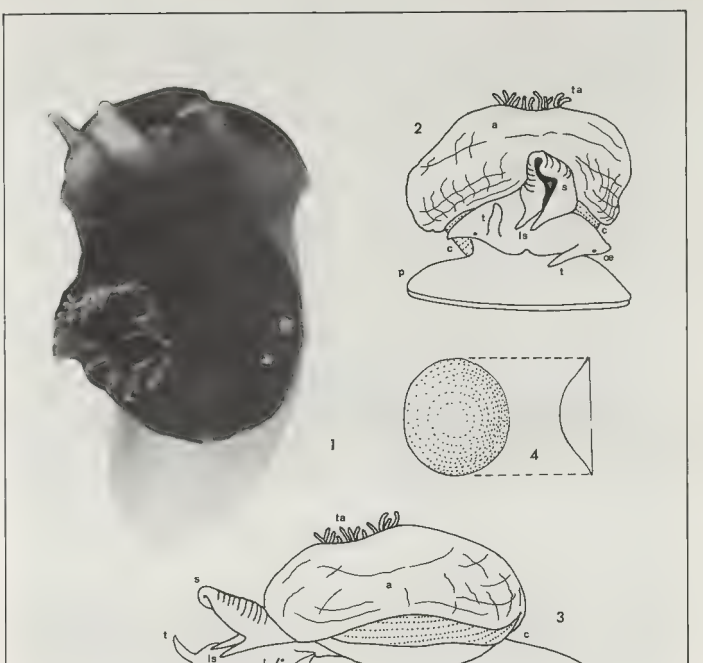



**Fig. 1-3.** — Harpovoluta charcoti **et son actinie commensale** Isosicyonis alba, **d'après des spécimens observés au voisinage de la péninsule Antarctique** (in vivo, x 1) **; 1, face dorsale ; 2, de face ; 3, de profil, (a, actinie** I. alba **; c, coquille ; ls, lobes du siphon ; ω, œil ; p, pied ; s, siphon ; sp, soie pédieuse ; t, tentacule d'**H. charcoti **; ta, tentacules de l'actinie** I. alba).

**Fig. 4. — Capsule ovigère d'**H. charcoti, **vue d'au-dessous et de profil (x 1).**

prement dites, suivi de près par *Neobuccinum eatoni* (Smith). Son anatomie a été décrite (avec quelques inexactitudes) par Vayssière (1917) et Eales (1923).

L'association avec une actinie semble tout à fait constante chez les individus vivants, d'après mes observations confirmant celles de Thiele (1912), Hedley (1916) et Bellisio *et al.* (1972). L'actinie recouvre la quasi-totalité de la coquille ; Vayssière (1917) et Eales (1923) ont cru que c'était un repli du manteau bordé de digitations ! Ceci était bien montré par une photo d'un individu fixé publiée (sans indication du nom du gastropode) par Bellisio (1966) et republiée par Bellisio *et al.* (1972) sous le nom d'*H. charcoti* indiqué par mes soins. Mais on trouvera ici des illustrations de cette association *in vivo* (fig 1-3) montrant la posture caractéristique prise par *H. charcoti* en déplacement ou en chasse.

De plus, pour la première fois, l'actinie associée a été identifiée (par D. Doumenc, comm. pers.) : il s'agit d'*Isosicyonis alba* (Studer, 1879), originellement décrite des côtes de Patagonie, vivant sur une coquille de *"Fusus"* indéterminé. Malheureusement, mes recherches du matériel type de Studer sont demeurées vaines : il faudra donc attendre un nouveau matériel pour connaître l'identité réelle du gastropode de Patagonie (ce n'est évidemment par un *Fusus* et il semble s'agir d'un Volutidae) servant d'hôte de remplacement à *Isosicyonis alba* là où manque *H. charcoti*.

Cette association *Harpovoluta charcoti - Isosicyonis alba* est intéressante à plus d'un titre : sa constance dans les eaux antarctiques, son originalité chez les Volutidae et le fait qu'elle s'applique à son représentant le plus austral. Comme l'ont noté Bellisio *et al.* (1972), c'est un élément appréciable de protection d'*Harpovoluta* et un moyen de transport (veritable adaptation trophique) de l'actinie. Je soulignerai de plus que la constance de cette association "dissuasive" est probablement une nécessité : le pied a un tel développement chez *H. charcoti* qu'il ne peut être rentré dans la coquille, d'ailleurs très fragile

L'actinie n'est pas blanche, comme son nom le laisse à penser, mais jaune olivâtre ou brun jaunâtre, à tentacules blancs ou grisâtres. Quant à la couleur d'*H charcoti*, elle varie avec l'âge, la face supérieure du corps, d'abord blanc pur, devenant progressivement d'une teinte orangée de plus en plus vive ; il est impossible de dire si ces colorations de l'actinie et de la volute jouent un rôle protecteur (mimétisme, rôle répulsif...) ou si la présence de l'actinie suffit à éloigner les prédateurs. En tout cas, aucun reste d'*Harpovoluta* n'a été trouvé dans les nombreux estomacs de poissons examinés au cours de la campagne du "Hero" et n'a jamais été signalé chez aucun prédateur, alors qu'il s'agit, il faut le rappeler, du plus gros gastéropode prosobranche antarctique

b) **Reproduction.**

Les capsules ovigères d'*H. charcoti* que j'ai obtenues au cours de la campagne 1972 du R/V Hero fournissent les premières informations à ce sujet. Elles étaient fixées isolément à des blocs rocheux d'Arthur Harbor et du voisinage (sta. 23, 60-90 m, et sta. 79, 53-65 m). De forme lenticulaire, mesurant 26 à 29 mm de diamètre et 10 à 12 mm de hauteur, et translucides (Fig. 4), elles sont remarquablement analogues de forme et dimensions aux ovicapsules d'*Odontocymbiola magellanica* (Gm) décrites notamment par Dall (1890 : 311-312, pl. 9, fig. 2 et 6). Ce rapprochement avec les capsules de la grande espece magellanique (dont la coquille peut atteindre 190 mm de longueur) souligne le fait que les capsules d'*Harpovoluta charcoti* sont relativement très grandes par rapport à l'espèce qui les pond : il s'agit peut-être d'une adaptation du volume intracapsulaire à un développement prolongé des embryons

La seule ovicapsule d'*H. charcoti* qui contenait des embryons en abritait 5, qui sont malheureusement morts en aquarium. Ceci suggère que les éclosions se produisent principalement au début de l'été austral, comme chez divers autres invertébrés antarctiques : les jeunes sont ainsi libérés au moment de la brève période de forte productivité estivale (Arnaud, sous presse). De plus, ce nombre de 5 embryons est lui aussi analogue à ce que signale Dall (1890) chez *Odontocymbiola magellanica :* 5 à 8 embryons par capsule On peut donc en déduire que l adaptation aux eaux antarctiques d'*H. charcoti* n'a pas nécessité une augmentation de la fécondité

c) **Régime alimentaire.**

*H. charcoti* est certainement un prédateur, comme les autres Volutidae (et, plus généralement, les Neogastropoda), mais il est bon de souligner une capture au casier faite à la station 97 du R/V Hero, 1972. Cette capture, faite à 73 mètres, montre en effet que, comme beaucoup de Néogastropodes, *Harpovoluta* ne dédaigne pas la necrophagie. C'est donc, en fait, une espèce à régime opportuniste, adaptation reconnue comme avantageuse dans les eaux antarctiques (Arnaud, 1974), mais qui doit la mettre en concurrence tropique avec *Neobuccinum eatoni*, Buccinidae abondant sur les mêmes fonds

## CONCLUSIONS

*Harpovoluta charcoti* s'est adapté à sa morphologie particulière (rendant impossible de rentrer tout le corps dans la coquille) en vivant en association avec l'actinie *Isosicyonis alba*, qui assure sa protection. Ses adaptations au milieu antarctique sont un large éclectisme écologique, un régime opportuniste aliant jusqu'à la nécrophagie, et, probablement, un développement intracapsulaire prolongé pour ses embryons (par augmentation du volume des ovicapsules) avec éclosion estivale (adaptation trophique au niveau des jeunes)


## REMERCIEMENTS

Le matériel ayant servi de base à ce travail m'a été aimablement adressé pour identification et étude par les Expéditions Antarctiques Argentines et les Expéditions Antarctiques Chiliennes, ou a été obtenu lors de ma participation à la campagne 1972 du R/V Hero, de la National Science Foundation de Washington (grant NSF GV-24157 attribuée à J.H. Dearborn, et aide fournie à l'auteur par les Terres Australes et Antarctiques Françaises) Enfin, j'exprime ma reconnaissance à D. Doumenc qui a bien voulu identifier, à ma demande, l actinie associée à *Harpovoluta*.


## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


ARNAUD P.-M., 1972. — Sur une petite collection de gastéropodes prosobranches et pélécypodes de l'Ile Petermann (Antarctique) *Téthys*, 4 (2) : 429-436

ARNAUD P.-M., 1974. — Contribution à la bionomie marine benthique des régions antarctiques et subantarctiques *Ibid*, 6 (3) : 465-656

ARNAUD P.-M , sous presse. — Adaptations with in the Antarctic marine benthic ecosystem. *Proc. Third Symposium on Antarctic Biology, Washington, Aug. 1974.*

BELLIS O N B , 1966 — Fauna marina antartica *Serv hidrogr. nav.*, Buenos Aires, Pub ico. H. 907 ' 1-91

BELLIS O N.B., LOPEZ R.B., TOMO A.P., 1972. — Distribucion vertical de la fauna bentonica en tres localidades antarticas Bahia Esperanza, isla Petermann y archipielago Melchior. *Inst. ant. argent., Contrib.* 142 : 1-57

DALL W.H., 1890. — Scientific results of explorations by the U S Fish Commission steamer Albatross. 7. Preliminary report on the collection of Mol usca and Brachiopoda obtained in 1887-88 *Proc. U.S. nat. Mus.*, 12 (773) : 219-362

EALES N B , 1923. — Mollusca 4. Anatomy of Gastropoda (except the Nudibranchia) *Brit. ant. (Terra Nova) Exp. 1910*, (Zool.) 7 (1) : 1-48

HEDLEY C., 1916. — Mo lusca. *Australas. ant. Exp. 1911-1914, Sci. Rep.* (Ser. C) 4 (1) : 1-80

LAMY E., 1910 — Mission dans l Antarctique (...). Gastéropodes prosobranches et Scaphopodes. *Bull. Mus. Hist. nat.*, 16 (6) : 318-324

POWELL A W B., 1958. — Mo.lusca from the Victoria-Ross quadrant of Antarctica *B.A.N.Z. ant. Res. Exp. 1929-1931, Rep* (Ser. B) 6 (9) : 167-210

STUDER T., 1879. — Zweite Abtheilung der Anthozoa Polyactinia welche wahrend der Reise S.M.S. Gazel e um die Erde gesammelt wurden. *Monats. k. preuss. Akad. wiss. Berlin*, 1878 524-550

THIELE J., 1912. — Die antarktischen Schnecken und Muscheln *Deut. Südpol. Exp 1901-1903*, 13, Zool. 5 (2) : 183-285

VAYSSIERE A., 1917. — Recherches zoologiques et anatomiques sur les mollusques amphineures et gastéropodes. *Deux. Exp. ant. franç. 1908-1910* : 1-50

# THEME 2
# SEXUALITE - DEVELOPPEMENT

# Ecophysiologie de la reproduction chez les mollusques lamellibranches

*par P. LUBET*

Laboratoire de Zoologie, U.E.R. des Sciences de la Vie, Université - 14032 Caen Cedex

## RÉSUMÉ

L'étude des différents facteurs du milieu sur la reproduction des Lamellibranches est présentée :

1. **Température :** Dans les stations naturelles et chez les espèces montrant une vaste répartition géographique, l'influence de la latitude a été mise en corrélation avec celle de la température. Certaines populations ont pu ainsi s'isoler le long d'une cline thermique et présenter des races géographiques génétiquement distinctes *(Crassostrea virginica :* Hillman, 1964 ; *Mercenaria mercenaria :* Pesch, 1974).

Au laboratoire ou en écloserie, une élévation de température augmente la vitesse de la gamétogénèse et de la maturation des gamètes, si toutefois la gamétogénèse a déjà débuté avant l'expérience. L'action de la température est plus complexe pendant la période de repos sexuel (Gimazane, 1972), celle-ci n'étant efficace chez *Cerastoderma edule* qu'au moins un mois avant la reprise de l'activité génitale dans les stations naturelles

2. **Salinité :** Chez *Crassostrea angulata* (Le Dantec, 1967), la durée de la gamétogénèse est fonction des températures et des salinités des mois d'hiver. Cette durée serait d'autant plus courte que la température des eaux a été élevée et que la salinité est restée faible, mais supérieure à 25 ‰. Ces facteurs conditionneraient également la température à laquelle se ferait la première ponte annuelle

Par ailleurs, Le Dantec (1967) a montré l'existence de relations entre le métabolisme et les changements de sexe chez *Crassostrea angulata*. Les facteurs externes permettant une haute productivité primaire agiraient ainsi indirectement pour accroître le nombre de femelles dans la population.

3. **Lumière et photopériode :** On sait actuellement peu de choses sur l'action des facteurs photiques. D'après Korringa (1955), la libération des larves chez *Ostrea edulis* obéirait à une périodicité lunaire. Ceci a été retrouvé en écloserie par Desvergées (1976) sur des animaux soumis à un conditionnement thermique en écloserie. Par ailleurs, Gimazane (1972) a montré que la lumière apparaît être sans action sur le déclenchement et la durée de la gamétogénèse chez *Cerastoderma edule*.

4. **Nutrition et bathymétrie :** La nutrition a un effet direct sur la vitesse et la durée des phénomènes de gamétogénèse, le jeûne arrêtant le cycle sexuel et induisant la lyse des gamètes. Ainsi, la zonation des mollusques dans la zone intercotidale peut exercer une influence importante sur la quantité de nourriture en fonction de l'immersion.

## SUMMARY

The influence of the external factors on the annual sexual cycle has been studied.

1. **Temperature:** Many authors had studied the influence of temperature on the annual reproductive cycle. In the field, the influence of latitude on the sexual cycle of species showing a large geographical range can be correlated with temperature. Sometimes, populations are isolated as physiological races sometimes genetically distinct — e.g. *Crassostrea virginica* (Hillman, 1964) *Mercenaria mercenaria* (Pesch, 1974). In experimental conditions (in the laboratory or hatcheries) the influence of temperature increases the speed of gametic maturation if the gametogenesis has been started before the experiments. During te resting stage, temperature can trigger the begining of gametogenesis but only if the animals are heated a long time before the begining of the reproductive cycle in natural conditions (Gimazane, 1972)

2. **Salinity:** In some species *Crassostrea angulata*, the influence of salinity is evident on the programmation of spawning (Le Dantec, 1967) but a close correlation can be shown between the action of temperature and salinity.

3. **Light & photoperiodism:** To date, very little is known. According to Korringa (1955) the spawning activity of the larviparous oyster *Ostrea edulis* is dependant upon lunar periodicity. The same phenomena could be observed in hatcheries on conditionned animals by Desvergées (1976). On the other hand (Gimazane, 1972), light appears to be ineffective on the resumption and the achievement of the sexuals cycle in *Cerastoderma edule*.

4. **Nutrition & bathymetry:** Nutrition has a direct influence on the duration and the speed of gametogenesis, starving stopping the sexual cycle and inducing lysis of gametes. Thus, the level of animals in the intertidal area can exert an influence on the feeding, according to the duration of immersion.

Le Dantec (1967) showed the existence of a relationship between metabolism and sex changes in *Crassostrea angulata*. The external factors inducing a high productivity — e g. zonation, salinity, salt content temperature, light, etc... — act indirectly on sex changes increasing the number of females

Les mollusques Lamellibranches constituent un groupe naturel d'environ 10 000 espèces réparties dans les milieux dulacquicole et marins. Dans ces derniers, les Bivalves se rencontrent dans le benthos d'à peu près tous les étages (*), mais ils sont particulièrement abondants dans le système littoral où ils peuvent constituer les éléments dominants et même caractéristiques de certaines communautés benthiques. C'est au niveau de ces biocoenoses réparties dans le médio-littoral inférieur, l'infra-littoral et le circalittoral, que l'action des facteurs climatiques est particulièrement importante. Il est donc intéressant de rechercer l'incidence des différents facteurs du milieu sur les individus et en premier lieu, sur la fonction de reproduction qui assure, grâce à la formation de nouvelles classes d'âge ou recrutement, l'équilibre dynamique des populations

L'étude écophysiologique de la reproduction des Bivalves est fondée sur deux types d'investigations complémentaires

— Il est indispensable de connaître, pour une espèce donnée, les variations des facteurs du milieu au niveau de différentes populations judicieusement choisies dans l'aire de répartition. Pour chaque population, il sera nécessaire de préciser les séquences et les modalités du cycle sexuel, les périodes de ponte, le recrutement, etc... On s'efforcera alors d'établir des corrélations entre les variations d'un ou de plusieurs paramètres et certains événements caractéristiques du cycle sexuel : départ de la gamétogénèse, maturation, émission des gamètes, taux de fécondité, apparition des jeunes classes d'âge, etc...

Un tel travail a été rarement entrepris de façon systématique, à l'exception de quelques espèces d'intérêt commercial (Huîtres, Moules, Clams).

— Les données, souvent très fragmentaires, recueillies par la prospection écologique, servent néanmoins de cadre aux recherches en laboratoire. On étudiera expérimentalement l'incidence sur la reproduction d'un certain nombre de paramètre pris isolément. Cette méthode, complémentaire de la précedente, est absolument indispensable mais elle n'échappe pas à la critique. En effet, dans la nature, les différents facteurs agissent simultanément et peuvent avoir des actions synergiques.

Le cycle annuel des Bivalves varie d'une espèce à l'autre et souvent pour une espèce présentant une vaste répartition géographique en latitude, il est fréquent de constater des différences importantes entre des populations éloignées

Deux types de comportement peuvent être schématiquement distinguées

— Des espèces montrent une période de reproduction assez courte (fin du printemps à fin de l'été) et une longue phase hivernale de repos sexuel *(Ostreidae, Veneridae, Cardiidae, etc...).*

— Des espèces à long cycle de reproduction présentent en alternance des phases de réplétion des gonades suivies de restauration immédiate après l'émission des gamètes. La phase de repos génital est en général courte (*Mytilidae, Glycimeris glycimeris, Pecten maximus Teredinidae*).

## I. ACTION DES FACTEURS ABIOTIQUES

### 1. LA TEMPERATURE

L'influence de la température sur la reproduction des Bivalves est actuellement assez bien connue. Orton (1920) considère que la température est le facteur principal responsable du rythme sexuel des animaux marins et croit pouvoir affirmer que chaque espèce est caractérisée par une température minimale de ponte. La température agirait globalement sur le métabolisme mais aussi, de façon indirecte, en intensifiant la production primaire ce qui augmente l'apport nutritionnel.

#### A. Dans le milieu naturel

Les variations du cycle sexuel d'espèces à vaste répartition géographique en latitude ont été interprétées par l'action thermique de l'eau de mer bien que d'autres facteurs interviennent comme la nutrition ou la photopériode.

a) *Incitation à la gamétogénèse*

Il est intéressant de savoir s'il existe une relation entre la reprise de l'activité génitale et les variations thermiques du milieu au moment de cette reprise

Pendant une vingtaine d'années, j'ai effectué des observations sur *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis* des côtes de France ; elles ne me permettent pas d'affirmer qu'une telle relation existe car la reprise de l'activité sexuelle ne semble pas dépendre des conditions thermiques au moment du départ de la gamétogénèse.

Des observations effectuées sur *Crassostrea gigas* et *Ostrea edulis* des côtes de la Manche confirment les résultats précédents, la reprise de l'activité génitale coïncidant ici avec les plus basses températures hivernales (8 - 9° C). Gimazane (1970) a observé des phénomènes identiques chez *Cerastoderma edule* de la Baie de Seine. Toutefois, le départ de la gamétogénèse, s'il ne dépend pas de l'état thermique au moment de la reprise du cycle sexuel, semblerait lié à des états thermiques antérieurs (automne précédent).

b) *Vitesse et durée du cycle sexuel*

J'ai analysé, dans un travail antérieur (Lubet et Choquet) les variations de la durée du cycle sexuel de *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis* en fonction de la latitude, la durée du cycle étant beaucoup plus longue dans les régions tempérées que dans les régions froides

Les recherches de Boyden (1970), Gimazane (1970), Zaouali (1972) sur *Cerastoderma glaucum* confirment les observations précédentes, le nombre de périodes de ponte étant plus élevé pour les populations de Tunisie que pour celles de la mer du Nord ou de la Manche.

La vitesse de la gamétogénèse est donc fonction de la température. Pendant les hivers très doux où la température des eaux n'est pas inférieure à 8° C, *Mytilus edulis* peut pondre en janvier, puis en mars (Arcachon, Manche), alors que les années très froides, on ne trouve une ponte qu'en mars ou avril.

De très basses temperatures ralentissent la gamétogénèse mais ne l'arrêtent pas (Lubet, 1959). La gonade est alors le siège de phénomène de lyse au niveau des ovocytes les plus âgés. Cette action de la température peut être interprétée par un ralentissement du métabolisme et une baisse considérable du taux de filtration qui diminue la prise de nourriture.

Bayne (1973) considère que chez la moule, la durée du temps de gamétogénèse (stades I à III) peut être mise en corrélation avec le produit du nombre de jours par la température moyenne relevée pendant cette période (day-degree). Des observations identiques ont été faites par Martell (1964) chez *Ostrea edulis* et par Le Dantec (1967) chez *Crassostrea anguiata.*

c) *Température d'émission des gamètes*

Dès 1920, Orton émet l'hypothèse de l'existence d'une température critique minimale de ponte caractérisant chaque espèce

Les travaux de Korringa (1957) sur *Ostrea edulis,* de Loosanoff sur *Crassostrea virginica* (1951-1957), de Lubet, (1959) sur les moules, de Sastry (1963-1968) sur *Aequipecten irradians* permettent de nuancer cette affirmation Ces recherches suggèrent en effet, pour ces espèces à

(*) Les Protobranches dominent dans les étages bathyal et abyssal

large répartition géographique en latitude, l'existence de « races physiologiques » caractérisées par une température critique minimale au-dessous de laquelle l'émission des gamètes est arrêtée. Loosanoff et Nomensko (1951) mettent en évidence l'existence de populations de *Crassostrea virginica* de la côte est des U.S.A. ayant des températures critiques de pontes différentes (Maine : 14-15° C ; Caroline du Sud : 17-18° C). Une population septentrionale reparquée dans des conditions thermiques différentes (sud) continuerait à se reproduire à la même température que dans son biotope d'origine. Korringa (1956) a critiqué valablement ces expériences car le matériel reparqué par ces auteurs était constitué d'huîtres âgées. Il aurait fallu reprendre ces recherches avec du naissain et suivre cette population pendant plusieurs générations pour savoir si cette adaptation thermique est génotypique ou phénotypique (écophénotype ou accomodat)

**B. Etude expérimentale**

L'étude expérimentale de l'action de la température sur le cycle sexuel des pélécypodes ou des invertébrés marins a été réalisée par Loosanoff et Davies (1950-1952), Crips (1957), Petel et Crips (1960), Sastry (1963-1968), qui ont apporté la preuve de l'action de la température sur la durée de la gamétogénèse. La ponte de quelques invertébrés marins a pu être ainsi obtenue en dehors de leur période de reproduction, en les maintenant à des températures élevées et en leur assurant une nutrition couvrant leurs besoins énergétiques. Le prolongement pratique de ces recherches est le conditionnement thermique des géniteurs en écloserie.

a) *Reprise de la gamétogénèse*

Gimazane (1971), Gimazane et Lubet (1972) ont soumis des coques du même âge *(Cerastoderma edule)* élevées en bacs de 45 l à une température constante de 15° C.

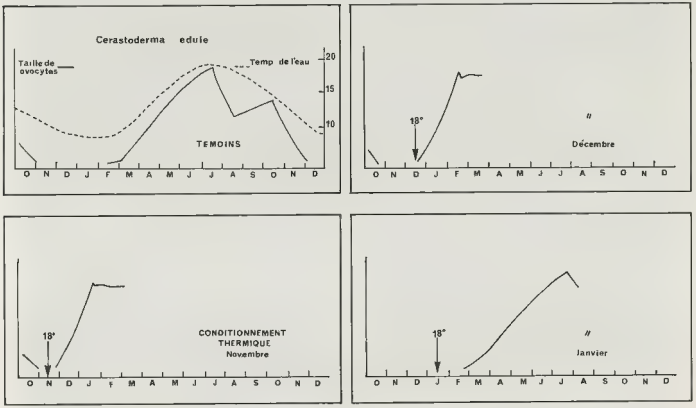



Fig.1

En effet, peu de recherches ont été réalisées jusqu'ici pour préciser si ces prétendues « races physiologiques » ont une réalité génique. Hilman (1960) montre l'existence de différences significatives dans la composition en amino-acides et en polypeptides de deux populations de *Crassostrea virginica*. Li et al. (1967) mettent en évidence des différences sérologiques entre des populations de la même espèce.

Enfin, Wilkins et Mathers (1974) ont étudié le polymorphisme enzymatique de 5 populations d'*Ostrea edulis* appartenant à deux « races physiologiques » différentes caractérisées par des températures de pontes différentes (Korringa, 1956) : 3 populations d'Irlande et 2 de Norvège.

Les résultats montrent que les populations diffèrent génétiquement entre elles, le degré de différence le plus élevé étant trouvé entre les « races physiologiques », ce qui établit que ces races ont réellement des génotypes différents.

Des séries expérimentales furent lancées chaque mois depuis la fin octobre (début de la période de repos sexuel) jusqu'en février. Des élevages témoins restés à la température des gisements naturels ont été menés parallèlement et soumis à la même nourriture.

Nous avons pu montrer dans les séries expérimentales lancées entre la fin octobre et la fin décembre une reprise beaucoup plus précoce de l'activité génitale (un ou deux mois d'avance sur les témoins). Par contre, les animaux stimulés thermiquement en janvier et en février ne présentent pas d'avance significative de la reprise de l'activité sexuelle par rapport aux témoins (fig. 1). Des résultats très voisins ont été obtenus par Devergée (1976) sur *Crassostrea gigas* (fig. 2) et par Pouvreau et Lubet (1976) sur *Ostrea edulis*.

On peut émettre l'hypothèse que la reprise de l'activité génitale serait sous la dépendance d'une horloge interne neuroendocrinienne qui déterminerait la reprise et l'amplitude du cycle sexuel. Ce rythme interne pour-

rait être modifié par des « synchronisateurs », facteurs externes parmi lesquels la température jouerait le rôle essentiel. L'action de la température pendant la période de repos sexuel modifierait la date de la reprise de l'activité génitale qui serait plus précoce si l'automne a été doux. Cette action de la température diminuerait à mesure que l'on se rapproche de la date probable de reprise du cycle sexuel ; elle serait déterminante de la fin octobre à la fin décembre chez la coque ou l'huître, puis pratiquement nulle en janvier et février, ce qui expliquerait pourquoi dans la nature, les dates de reprise de l'activité génitale sont indépendantes des conditions thermiques qui règnent pendant cette période, mais semblent liées aux températures de l'automne précédent

Là aussi, une augmentation de la température peut provoquer la maturité sexuelle avec une avance considérable par rapport aux animaux témoins ou des stations naturelles. Par ailleurs, une fois que la reprise de l'activité génitale s'est effectuée, un abaissement brusque de température est incapable d'arrêter le cycle sexuel mais allonge alors sa durée. Des résultats similaires ont été obtenus par Desvergée (1976) chez *Crassostrea gigas*.

En conclusion, la période de ponte est fonction des conditions thermiques du milieu. Bayne et al. (1976) ont

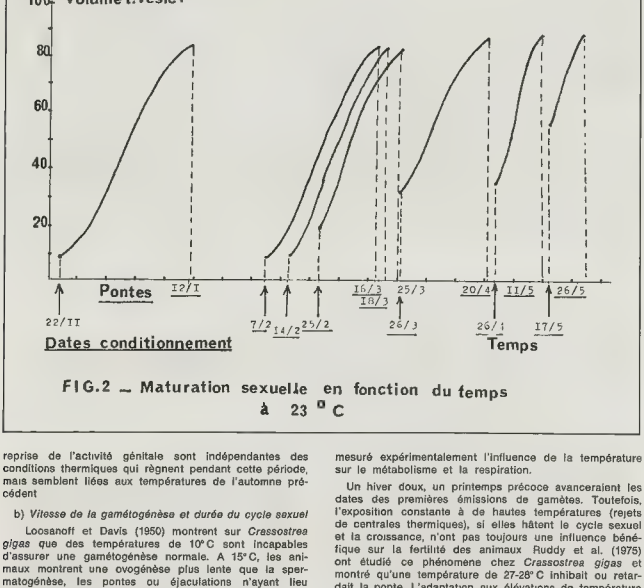



**FIG.2 – Maturation sexuelle en fonction du temps à 23 °C**

mesuré expérimentalement l'influence de la température sur le métabolisme et la respiration.

Un hiver doux, un printemps précoce avanceraient les dates des premières émissions de gamètes. Toutefois, l'exposition constante à de hautes températures (rejets de centrales thermiques), si elles hâtent le cycle sexuel et la croissance, n'ont pas toujours une influence bénéfique sur la fertilité des animaux Ruddy et al. (1975) ont étudié ce phénomène chez *Crassostrea gigas* et montré qu'une température de 27-28° C inhibait ou retardait la ponte. L'adaptation aux élévations de température a donc des limites qu'il conviendrait de préciser.

b) *Vitesse de la gamétogénèse et durée du cycle sexuel*

Loosanoff et Davis (1950) montrent sur *Crassostrea gigas* que des températures de 10° C sont incapables d'assurer une gamétogénèse normale. A 15° C, les animaux montrent une ovogénèse plus lente que la spermatogénèse, les pontes ou éjaculations n'ayant lieu qu'au bout de deux mois. Cette durée est raccourcie de 15 à 20 jours lorsque les animaux sont élevés à 20-25° C. Des résultats similaires ont été obtenus par ces auteurs sur le clam *Mercenaria mercenaria* et par Sastry (1968) sur *Aequipecten irradians*. Sur ce dernier matériel les animaux ont été exposés à une photopériode constante et la maturation ou la fécondation n'ont lieu qu'au-dessus de 20° C.

Ces expériences ont été reprises par Gimazane (1970) et Gimazane et Lubet (1972) sur *Cerastoderma edule*.

c) *Température et ponte*

Une fois la maturité sexuelle atteinte, la ponte ou l'éjaculation peuvent être déclenchées par un choc thermique (Lubet, 1959). Ce procédé est aujourd'hui largement employé pour la ponte des géniteurs en écloserie Un abaissement ou une élévation brusque de la température avec retour à la température initiale est alors efficace pour obtenir l'émission des gamètes. Toutefois,

dans la nature, ces changements thermiques sont liés aux fortes marées pendant lesquelles il existe une forte différence entre la température de l'eau et de l'air (importance des vents). Par ailleurs, d autres facteurs peuvent également intervenir : changements salins, agitation mécanique, etc... Tout changement brusque des facteurs externes est efficace entre certaines limites. Il ne semble pas y avoir de stimulus électif (Lubet, 1959) et l'action de chacun d'eux pris isolément est moins efficace que leur action simultanée. Ce stress doit être suivi par un retour aux conditions thermiques les plus favorables pour la ponte

2. LA SALINITE

Ce facteur agit sur les espèces en limitant leur développement (limites létales salines). L'intervention directe de la salinité n'a pas encore été étudiée de façon exhaustive.

A. **Dans la nature**

Lubet (1959) avait remarqué que les basses salinités automnales et hivernales retardaient de façon significative la gamétogénèse des jeunes *Mytilus edulis*. Toutefois, cette action est difficile à dissocier de celles de la température et de la nutrition car les basses salinités comme les basses températures ralentissent la vitesse de filtration, donc la prise de nourriture.

Des observations du même ordre ont été réalisées sur l'huître portugaise *Crassostrea angulata*.

Marteil (1960) notait que les huîtres du Morbihan présentaient, pour des températures identiques, un développement de la gonade plus important lors de légères dessalures intervenant à la fin de l hiver et au printemps. Les travaux effectués par Le Dantec (1968) à Arcachon confirment et précisent les résultats précédents. La durée de la gamétogénèse de *Crassostrea angulata* est fonction des températures et salinités des mois d'hiver et de début de printemps. Cette durée est raccourcie par de basses salinités (toutefois supérieures à 25 ‰) et de hautes températures hivernales (moyenne thermique)

Là aussi, la salinité pourrait ne pas agir directement sur la reproduction de ces animaux euryhalins. En effet, les basses salinités hivernales dues à de fortes chutes de pluies enrichissent le milieu en sels nutritifs. Si cet état coïncide avec des températures favorables (hiver doux et printemps précoce), le « bloom » phytoplanctonique printanier est avancé, ce qui permet un apport nutritionnel plus précoce et important.

En conclusion, dans le cas des mollusques marins euryhalins, température et salinité semblent intimement liés. Seule l'étude expérimentale permet de dissocier l'action de ces facteurs.

B. **Etude expérimentale**

Gimazane (1970), Gimazane et Lubet (1972) ont étudié l'incidence de la salinité sur le départ du cycle sexuel et la vitesse de la gamétogénèse chez la coque *Cerastoderma edule*. Des élevages ont été réalisés à différentes salinités échelonnées entre 15 ‰ et 32 ‰, la température restant constante (15° C) et la nutrition suffisante pour couvrir les besoins énergétiques. Il n'a pu être observé de modifications significatives du cycle sexuel en fonction de la salinité. Ces expériences mériteraient toutefois d'être reprises à une plus grande échelle, sur de nombreuses espèces.

3 LA LUMIERE

On ne sait actuellement pratiquement rien de l'action de la lumière (photopériode, qualité ou intensité) sur le cycle sexuel des Lamellibranches. Gimazane (1970) a soumis plusieurs lots de coques élevées à 16° C, à différentes conditions d'éclairage (photopériode, éclairage permanent supérieur à 2 000 lux, obscurité permanente). Au début de l'expérience, tous les animaux étaient en période de repos sexuel. Ces lots ont été suivis plusieurs mois jusqu'à la maturité sexuelle. Aucune différence significative n'a pu être relevée entre eux, tant pour la reprise de l'activité génitale que pour la durée de la gamétogénèse, les animaux présentant de façon synchrone la maturité génitale. Chez cette espèce la lumière n'aurait pas d'effet direct sur le cycle sexuel. Toutefois, la lumière agit indirectement en permettant le « bloom » phytoplanctonique printanier dont l'intensité influe par l'apport nutritionnel, sur le déroulement de la gamétogénèse

Un point particulièrement important est l'action de la lumière sur la périodicité des émissions de gamètes et de larves. Korringa (1955) après une dizaine d'années de recherches sur *Ostrea edulis* des côtes d'Europe a pu réunir suffisamment de résultats pour pouvoir mettre en évidence un rythme très net d'expulsion des larves par les huîtres mères. Ce rythme dépend des marées, le nombre maximum de larves émises pouvant être observé dix jours après la pleine ou la nouvelle lune

Chez les huîtres portugaises (Le Dantec, 1968) la ponte ne semble pas suivre une périodicité de ce type. Le nombre moyen des pontes observé au cours de l'été est plus grand que le rythme individuel des émissions. Toutes les huîtres d'un même station ne réagissent pas en même temps aux stimuli de ponte bien qu'elles aient sensiblement atteint à la même période le stade de maturité

Chez les moules (Lubet, 1959) la périodicité des pontes peut être mise en corrélation avec les marées de vives eaux et avec l'intensité des vents pendant ces marées.

4. LA NUTRITION

L'action directe de la nutrition sur la reproduction des Lamellibranches a été peu étudiée de façon précise. En effet, il est difficile de donner aux élevages des rations alimentaires aussi complètes que celles des animaux des gisements naturels

De nombreuses « recettes » plus ou moins empiriques de régimes alimentaires à base d'algues unicellulaires de culture ont été mises au point et sont utilisées dans les écloseries pendant le conditionnement thermique des géniteurs et la vie larvaire. Ces régimes sont empiriques et souvent les « recettes » sont jalousement gardées par les utilisateurs, ce qui empêche une étude comparative sérieuse.

Les recherches ont surtout porté sur les phénomènes de filtration et de capture d'une part, et d'autre part, sur l'estimation des besoins énergétiques des animaux (voir Gabbott, 1976)

A **Dans la nature**

Différents auteurs ont essayé d'établir une corrélation entre la qualité et la quantité de phytoplancton d'une part, et les différentes séquences du cycle sexuel, d'autre part (Fox, 1936 ; Coe et Fox, 1942, 1943, 1944 ; Verwey, 1952 ; Fraga, 1955 ; Lubet, 1959). Il n'a pas été possible jusqu'ici d'établir de relations de ce type. En effet, le début de la gamétogénèse a lieu souvent à une période où la quantité de plancton est très faible (huîtres, coques, clams) et si le « bloom » printanier coïncide souvent avec une forte activité gamétogénétique ; il peut, chez certaines espèces (Mytilidés) ne pas en être ainsi

Par ailleurs, d'autres éléments difficiles à apprécier peuvent intervenir dans la nutrition des Lamellibranches, en dehors du phytoplancton. Les matières organiques dissoutes ou en suspension et les bactéries peuvent également jouer un rôle important dans la nutrition surtout lorsque en hiver la quantité de phytoplancton est faible.

Toutefois, la relation entre l'activité sexuelle, le métabolisme et la consommation d'oxygène est beaucoup plus nette Lubet (1959), Bayne et al. (1976) ont largement établi ces notions chez la moule. Pendant la période de repos sexuel estival, les réserves de glycogène sont élevées mais ce matériel n'est pas metabolisé, ce qui se traduit par une consommation assez faible d'oxygène. Pendant la phase active de la gamétogénèse, la demande métabolique s'accroît et les réserves de glycogène disparaissent progressivement, ce qui se traduit par une élévation de la consommation en oxygène qui diminue après la ponte. Par ailleurs, Houtteville (1975) a montré que les cellules de réserve (cellules adipogranuleuses et cellules vésiculeuses de Leydig) étaient le siège, au cours de l'activité sexuelle de phénomènes de lyse suivis de restaurations partielles après la ponte Ces processus complexes libèrent les métabolites nécessaires à l'activité génitale. Le processus dominant pendant la gamétogénèse est la dégradation du glycogène et du glucose et la synthèse de lipides et de protéines.

L'incidence de la nutrition sur le développement sexuel n'est donc pas direct mais passe par l'intermédiaire de l'accumulation du glycogène dans le tissu vésiculeux et de son utilisation par l'organisme qui met en jeu de nombreux facteurs externes (température) ou internes : métabolisme et sa régulation nerveuse et neuroendocrinienne.

### B Etude expérimentale

La nutrition peut intervenir à différentes étapes du cycle sexuel.

*— Incitation à la gamétogénèse :*

Gimazane (1970), Gimazane et Lubet (1972) ont montré que l'action de la température est plus importante que celle de la nutrition. En effet, des élevages de coques prises en période de repos sexuel (novembre) et effectués à 15° C ont été soumis à différents régimes alimentaires ou au jeûne. Le départ de la gamétogénèse s'effectue de façon synchrone dans tous les élevages et l'on constate chez les individus mal nourris ou au jeûne un épuisement plus rapide du glycogène au niveau des cellules vésiculeuses. Toutefois, si la gamétogénèse peut commencer chez ces animaux, elle ne va jamais très loin surtout chez les femelles

*— Gamétogénèse et acquisition de la maturité :*

J'ai constaté à plusieurs reprises que chez des animaux conservés au laboratoire et mal nourris (Mytilidés. Ostreidae Pectinidae, etc..), le cycle sexuel s'effectuait lentement et que les animaux ne parvenaient jamais à produire des gamètes mûrs. Ce processus s'accompagne toujours de remaniements intéressants des gonades et particulièrement chez les femelles où l'on peut observer des phénomènes de lyse ovocytaire avec phagocytose de particules par les amibocytes et réabsorption de métabolites par les cellules germinales ou les jeunes ovocytes (Herlin, 1975). Ce processus est superposable à celui obtenu par l'action du froid pendant la gamétogénèse et il peut expliquer la remise en circulation de métabolites destinés à couvrir la dépense energétique minimale ou selon Bayne et al. (1976), le « métabolisme standard ».

Des observations très intéressantes à cet égard ont été réalisées par Bayne et Gabbott (1975) en nourrissant des moules avec des algues marquées ($^{14}C$ *Tetraselmis*). Le taux d'incorporation du $^{14}C$ dans les gonades est plus important lorsque les animaux sont faiblement nourris que lorsque la nourriture est abondante. La couverture des besoins énergétiques nécessaires à la gamétogénèse est donc réalisée en priorité

*— Action de la nutrition sur les changements de sexe :*

Le Dantec (1958) en étudiant les populations de *Crassostrea gigas* a pu montrer que la fréquence des changements de sexe pourrait être en relation avec la nutrition des individus. En effet, c'est dans les zones de haute productivité que l'on trouve le taux le plus important de changement de sexe : transformation des mâles en femelles. Ces résultats du plus haut interêt demanderaient à être confirmés sur d'autres espèces hermaphrodites et suggèrent la nécessité d'études expérimentales.

Par ailleurs, j'ai constaté que les géniteurs conservés longuement en écloserie (huîtres) présentaient des anomalies de la sex-ratio avec une excès de mâles. Peut-être ne s'agit-il là que d'une coïncidence fortuite due au petit nombre d'individus examinés, mais le problème reste à étudier systématiquement.

## II. LES FACTEURS BIOTIQUES

On peut considérer comme facteurs biotiques les interréactions entre les individus, le commensalisme, le parasitisme et la prédation. Compte tenu du petit nombre de travaux expérimentaux, je me contenterai seulement de poser ces problèmes

### 1. Interréactions entre les individus

Il s'agit de réactions complexes d'analyse difficile qui se situent à différents niveaux

*A Niveau nutritionnel*

Dans les moulières naturelles ou dans les élevages (bouchots, cordes), les individus placés en sous-strate se développent mal et présentent toujours un « indice de condition » très faible par rapport à ceux de la surface. Il s'agit ici d'une compétition alimentaire d'une part, et, d'autre part, de colmatage de la sous-strate par les particules vaseuses (pseudo-fécès et fécès) rejetés par les animaux des couches superficielles.

### 2. Emission de gamètes

Galtsoff (1938-1940) a pu mettre en évidence, chez *Crassostrea virginica* que les gamètes pouvaient émettre dans l'eau de mer des substances (« fertilisines ») susceptibles de provoquer électivement chez la même espèce, la décharge des produits sexuels des animaux mûrs de sexe opposé. Nelson et al. (1940) ont découvert sur la même espèce, que les spermatozoïdes libéreraient une substance différente de « l'hormone de Galtsoff », la « diantline », de nature nucléoprotéique et qui agirait sur les deux sexes en permettant la meilleure évacuation des œufs et du sperme.

J'ai pu montrer (Lubet, 1959) que des substances identiques se retrouvent chez *Mytilus edulis* ; une première substance identifiable à l' « hormone de Galtsoff » et une seconde ayant les effets de la « diantline » se retrouve effectivement associées au sperme émis par les animaux. Toutefois, il est encore difficile de préciser si ces substances proviennent réellement du sperme ou si elles sont émises en même temps que lui. Dans ce dernier cas, ces substances seraient assimilables à des phéromones

### 3. Le commensalisme et le parasitisme

Les Lamellibranches hébergent souvent des commensaux *(Pinnotheres pisum,* par exemple) qui ne sont pas specifiques, ce crabe pouvant se rencontrer chez les moules, mais aussi chez les huîtres ou les coques

Mes observations, effectuées sur *Mytilus edulis* de la Manche et confirmées par les recherches de Bayne et al. (1976), m'ont amené à établir que la présence du *Pinnotheres pisum* n'entraînait pas de perturbations significatives dans les séquences du cycle sexuel ni dans le taux d'accumulation du glycogène et des lipides.

Les problèmes posés par les parasites sont complètement différents

Les mortalités massives de *Mytilus edulis* provoquées en 1949 par l'agression du parasite intestinal, le copépode *Mytilicola intestinalis* ont été bien etudiees par Korringa (1951). La moule perd ses réserves, la gamé-

togénèse s'arrête et les animaux devenus très maigres meurent. Toutefois, le parasite peut causer la castration de l'individu sans entraîner sa mort. Telle est l'action de l'hydraire (*) qui s'établit sur le manteau de *Mytilus galloprovincialis* (Lubet, 1973) en Méditerranée et celle du Trematode *Bucephalus* sp. que l'on rencontre souvent dans *Mytilus edulis* des côtes de la Manche.

Des observations très intéressantes ont été effectuées par Dupouy et Martinez (1973) sur *Mytilus galloprovincialis* de la région de Sète qui sert d'hôte intermédiaire au Trematode *Proctoeces maculatus*. Ces auteurs ont étudié l'influence du parasite sur les séquences du cycle sexuel de l'hôte

La castration n'intervient que lorsque deux conditions se trouvent réunies ; l'installation miracidienne doit se produire au cours de la phase de repos sexuel et le taux de prolifération de sporocystes doit atteindre sa valeur maximum avant la multiplication des gonies. Cette castration est indirecte car les cellules souches des gonades ne semblent pas être atteintes par le parasitisme. Les sporocystes épuisent les réserves du tissu de réserve intergonatique (glycogène des cellules vésiculeuses) et l'on constate que l'évolution du cycle sexuel est bloquée. Cette observation souligne une fois de plus l'étroite dépendance qui existe entre la gonade et le tissu de réserve.

En conclusion, cette étude nous a montré la nécessité d'approfondir nos connaissances dans le domaine de l'écophysiologie de la reproduction des mollusques lamellibranches. Si certains facteurs ont fait l'objet de recherches approfondies, telle la température, beaucoup d'autres, comme la lumière, la salinité, la nutrition, demandent de nouvelles investigations. Nous voyons toutefois que la température apparaît jusqu'ici comme le facteur le plus important pour le déclenchement de l'activité génitale, la vitesse de déroulement de la gaméto-génèse et l'émission des produits sexuels. Une connaissance précise de l'incidence de la nutrition sur le cycle sexuel revêt également une grande importance car le déroulement normal de l'activité génitale dépend de la présence de réserves (glycogène) et de la mise en place des enzymes qui permettent son utilisation.

Ces recherches ont, en effet, des prolongements d'actualité. La maîtrise des facteurs permettant l'obtention des larves est fondamentale en aquaculture conchylicole. Par ailleurs, l'étude de l'impact des pollutions thermiques ou chimiques sur la reproduction des mollusques littoraux doit être entreprise de façon systématique.

*Eugymnanthea inquilina Pal

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BAYNE B L., 1973 a. — Physiological changes in *Mytilus edulis* L induced by temperature and nutritive stress. *J. mar. biol. Ass U. K.*, 53 : 39-58.

BAYNE B L., 1973 b. — Aspects of the metabolism of *Mytilus edulis* during starvation. *Neth J. Sea Res.*, 7 : 339-410.

BAYNE B L., 1973 c — The responses of three species of bivalve mollusc to declining oxygen tension et reduced sa inity. *Comp. Biochem. Physiol.*, 45 A : 793-806

BAYNE B.L., 1974. — The reproduction in bivalve molluscs under stress. *The ecophysiology of estuarine organism, edit. by J. Vernberg*

BAYNE B L., 1976 — Marine mussels, their ecology and physiology *Cambridge Univ. Press*

BAYNE B.L., GABBOTT P.A & WIDDOWS J., 1975. — Some aspects of the effect of stress in adult on the eggs and larvae of *Mytilus edulis* L. *In Effet of temperature on ectotherme organisms edited by V. Wieser, Springer Verlag Berlin : 181-193*

BAYNE B.L., THOMPSON R.J. & WIDDOWS J., 1976. — Physiology Part 1 et 2 in *Marine mussels, their ecology and physiology*, edited by Bayne B.L., Cambridge, *Univ. Press*, 122-206, 207-260

BOYDEN C.R., 1971. — A comparative study of the reproductive cycles of the cockles *Cerastoderma edule* et *C. glaucum*, *J mar. biol. Ass. U.K.*, 51 (3) : 605-622.

COE W. E. & FOX D L., 1942. — Biology of California sea mussel (*Mytilus californianus*) *J exp. Zool.*, 90 : 1-30

CRISP, D.J. & PATEL B.S., 1960. — The moulting cycle in *Balanus balnoides* L. *Biol. Bull. mar. biol. Lab., Woods Hole*, 118 : 31-47

DEVERGEE A. & COLLIN-NICOLAS F., 1976. — Le cycle sexuel et la reproduction de l'huître japonaise *Crassostrea gigas*. *Mém. DEA. Univ Caen* : 1-36

DUPOUY J. & MARTINEZ J.C., 1973. — Action de *Proctoeces maculatus* (LOOS, 1901) (*Trematoda Fellodistomatidal*) sur le développement des gonades chez *Mytilus galloprovincialis* LMK C.R Acad. Sci. Paris, 276 (D-24) : 3175-3177.

FOX D L., 1936. — The habit and food of the California sea mussel *M. californianus*. *Bull. Scripps Ocean. Inst., 4* : 1-64.

FRAGA F., 1956. — Variacion estacional de la composicion quimica del mejillon (*Mytilus edulis* L.) *Invest. Pesqueras Barcelona, 4* : 109

GALTSOFF P S., 1938. — Physiology of reproduction of *Ostrea virginica*. Part I *Biol, Bull mar, Lab. Woods Hole. 74 (3) : 461-486, Part. II Ibid. 75 (2) : 286-307*

GALTSOFF P.S., 1940. — Physiology of reproduction of *Ostrea virginica*. Part. III, *Ibid. 78 (1) : 177-135*

GABBOTT P.A., 1975. — Storage cycles in marine bivalve molluscs : a hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis in *Ninth Europ. Mar. Biol Symp. Edited by H. Barnes, Aberdeen Univ. Press : 191-212*

GABBOTT P.A., 1976. — Energy metabolism in *Marine mussels, their ecology and physiology. Edited by B.L. Bayne : 293-355, Cambridge Univ. Press.*

GIMAZANE J.P., 1971. — Introduction à l'étude expérimentale du cycle sexuel d'un mollusque bivalve, *Cardium edule* L. *Thèse Doct. Océanogr. Univ Caen, 1970.*

GIMAZANE J. P. & LUBET P E., 1972 — Etude expérimentale de l'action de nutrition, de la température et de la lumière sur le cycle sexuel de *Cardium edule* L (Mollusque Bivalve). *Bull Soc. Linn. Normandie 103 : 137-146*

HERLIN-HOUTTEVILLE P. & LUBET P E., 1975 — The sexuality of Pelecypod Molluscs in *Intersexuality in the Animal Kingdom Edit. by Reynhath., Springer-Verlag : 179-187*

HILLMAN R E., 1964. — Cfiromatographic evidence of intraspecific genetic differences in Eastern oyster *Crassostrea virginica*. *Syst Zool., 13 : 72-78*

HOUTTEVILLE P., 1974. — Contribution à l'étude cytologique et expérimentale du cycle annuel du tissu de réserve du manteau de *Mytilus edulis* L. *Thèse Doct. Brol. Anim. Univ Caen, 1-98*

KORRINGA P., 1951. — Le *Mytilicola intestinalis* (copépode) menace l'industrie mytilicole en Zélande. *Rev. Trav. Off Sci. Pêches mar., 17 (2) : 9-13.*

KORRINGA P., 1956. — Water temperature and breeding throughout the geographical range of *Ostrea edulis* L. *Ann. Biol Paris, 32 : 1-17.*

LE DANTEC J., 1968 — Ecologie et reproduction de l'huître portugaise *Crassostrea angulata* Lmk dans le Bassin d'Arcachon et sur la rive gauche de la Gironde *Rev. Trav. Inst. Pêches mar Paris, 32* : 1-126

LI M F., FLEMMING C F. & STEWAR J E., 1967. — Serological differences between two populations of oysters (*Crassostrea virginica*) from the atlantic coast of Canada *J Fisk. Res Bd. Canada 24 : 443-445*

LOOSANOFF V L. & DAVIS H C., 1950 — Conditionning *Venus mercenaria* for spawning and breeding larvae in the laboratory. *Biol. Bull. mar. Lab, Woodshole, 98 : 60-63.*

LOOSANOFF V.L. & DAVIS H.C., 1952. — Temperature requirement of gonads in notnem oysters. *Ibid. 103 : 80-96*

LOOSANOFF V.L. & NOMEJKO C.A., 1951. — Existence of physiologically different races of Osters, *Crassostrea virginica*, *Ibid 101 (2) : 151-156.*

LUBET P., 1959 — Recherches sur le cycle sexuel et l'émission de gamètes chez les Mytilidés et les Pectinidés (Moll. Bivalves). *Rev. Trav. Inst. Pêches mar. Paris. 23 (3) : 387-548*

LUBET P., 1973 — Exposé synoptique des données biologiques sur la moule, *Mytilus galloprovincialis Lmk. Synop. F.A.O. 88 : 1-95.*

LUBET P. & CHOQUET C., 1971 — Cycles et rythmes sexuels chez les mollusques bivalves et gastéropodes. *Haliotis, 1 (2) : 129-149.*

MARTEIL L., 1960. — Ecologie des huîtres du Maroilhan *Ostrea edulis* et *Gryphaea angulata Lmk. Rev. Trav. Inst. Pêches mar. Paris, 24 (3) : 329-448*

NELSON T.C & ALLISON J.B., 1940 — On the nature and the action of Diantlin, a new hormone like substance carried by the spermatozoa of the Oyster *J. Exp. Zool., 85 (2) : 299-338.*

ORTON J H., 1920. — Sea temperature, breeding and distribution in marine animals. *J. mar. Biol. Ass. U.K. 12 : 339-366.*

PATEL B & CRISP D.J., 1960. — The influence of temperature on the breeding and moulting activities of some warm operculate barnacles *J. mar. Biol Ass. U.K., 39 : 667-680.*

POUVREAU B. & LUBET P., 1976. — Report d'activité. Contrat CNEXO 75/1395. Biologie de la reprod de Cheval (*Ostrea edulis L.*), *1-46*

RUDDY F.M., FENG S Y & CAMPBELL G S., 1975. — The effect of prolonged exposure to elevated temperatures on the biochemical constituents, gonadal development and shell deposition on the American oyster, *Crassostrea virginica. Comp. Biochem. Physiol 51 (2 B) : 157-164*

SASTRY A.N., 1963. — Reproduction of the Bay Scallop, *Aequipecten irradians Lmk* Influence of the temperature on maturation and spawning *Biol Bull mar Biol. Lab. WoodsHole, 125 (1) : 146-153*

SASTRY A.N., 1968 — The relationships among food and gonadal development of the Bay Scallop *Aequipecten irradiens* Lmk *Physiol. Zool., 41 (1) : 44-53.*

VERWEY J., 1952. — On the ecology of distribuhon of cockle and mussels in the Dutch Waddensea. *Arch. Neerl. Zool Leyde 10 : 172-239*

WILKINS N., 1975. — Genetic variab lity in marine Bivalvia : implication and application in molluscan mariculture. *Proc. 10th Europ. Mar. Biol. Symp. Ostenda* (sous presses)

ZAOUALI J., 1974. — Les peuplements malacologiques dans les biocoenoses lagunaires de Tunisie. Etude de la biologie de l'espèce pionnière *Cerastoderma glaucum*. *Thèse Doct. Etat Sc. Nat. Univ. Caen : 1-250.*

# Les effets de l'agitation des eaux sur les états sexuels de *Littorina saxatilis* (Olivi) *Rudis* (Maton)

*par Jean-Claude MORETEAU*


## RÉSUMÉ

Les effets de l'agitation des eaux sur la taille des différents stades de maturité sexuelle de *Littorina saxatilis rudis* sont étudiés.

La population choisie pour cette étude présente un cycle sexuel saisonnier chez les mâles, pour le mode semi-battu. Il n'est pas impossible que l'agitation des eaux puisse modifier celui-ci soit directement, soit en modifiant la vitesse de croissance et la longévité de l'espèce.

## SUMMARY

The height variation of different stages of sexual maturity of *Littorina saxatilis rudis* in relation to the exposure scale are studied. The chosen population has, for the males, a seasonnal sexual cycle in the semi-exposed shores, it is possible tat the exposure variation modifies this cycle either directly either by acting on the growth and on the longevity of species.


Les Littorinides de Roscoff (Nord-Finistère) ont fait l'objet de nombreuses études écophysiologiques. C'est sur *Littorina saxatilis rudis* que le cycle sexuel saisonnier des mâles (Bergerard, 1975), la croissance (Moreteau, 1976) et la sénescence (Inagaki, 1973) ont été plus particulièrement étudiés. Une relation entre la maturité sexuelle d'une population et l'agitation des eaux a été mise en évidence par Bergerard, en 1971, sur cette même espèce. Ce travail a pour but de tenter une analyse plus fine de ce phénomène.

### I. LES DIFFERENTS MODES ETUDIES.

La station d'étude choisie est située sur la côte nord de l'île de Batz, elle permet de rencontrer à peu de distance les uns des autres trois modes :

— un mode battu
(mode 3, selon l'échelle de Ballantine, 1961),
— un mode semi-battu
(mode 4, selon l'échelle de Ballantine, 1961),
— un mode abrité
(mode 6, selon l'échelle de Ballantine, 1961).

Ces trois modes sont localisés à 6,5 m au-dessus du niveau 0 des cartes, soit environ le niveau moyen des hautes mers de mortes-eaux.

### II. VARIATIONS DE LA VITESSE DE CROISSANCE ET DE LA MORTALITE.

Préalablement à l'étude de la croissance, une mise en évidence des relations biométriques entre hauteur, largeur et poids de la coquille montrent que celles-ci varient peu selon leur exposition. La hauteur de la coquille reste le meilleur critère d'estimation de la « taille » de l'animal

Dans les trois modes considérés, la croissance de l'espèce, selon l'équation classique de Von Bertalanffy, a été étudiée. Cette technique d'étude par marquage et recapture a déjà été décrite et employée (Moreteau, 1976) chez *Littorina saxatilis rudis*. Pour les modes semi-battu et abrité, on a pu, en outre, établir la courbe de mortalité de l'espèce selon le mode. Pour le mode battu, la courbe de croissance calculée ne l'est qu'à l'aide de données fragmentaires et comparatives et n'a pas permis d'établir une courbe de mortalité

Mode battu

$$h_t = 178\ [\ 1 - e^{-0{,}070\ (t\ +\ 0{,}41)}]$$

Mode semi-battu

$$h_t = 184\ [\ 1 - e^{-0{,}067\ (t\ +\ 0{,}42)}]$$

Mode abrité

$$h_t = 197\ [\ 1 - e^{-0{,}053\ (t\ +\ 0{,}49)}]$$

Toutes ces équations sont établies pour une taille à la ponte de 5/10e de mm. Il est ainsi possible d'établir une relation simple entre la taille et l'âge pour l'espèce dans les trois modes considérés

| âge | mode BATTU | mode SEMI-BATTU | mode ABRITE |
|---|---|---|---|
| 3 mois ..... | 38 | 38 | 33 |
| 6 mois ..... | 64 | 64 | 57 |
| 1 an ..... | 103 | 104 | 95 |
| 18 mois ..... | 129 | 130 | 123 |
| 2 ans ..... | 146 | 148 | 143 |
| 3 ans ..... | 164 | 168 | 169 |
| 4 ans ..... | 172 | 177 | 182 |
| 5 ans ..... | 175 | 181 | 189 |
| 6 ans ..... | 177 | 183 | 193 |

Ce tableau montre que, compte tenu de l'approximation des méthodes employées, la croissance de l'espèce ne subit pas de grandes variations, sauf pour les grandes tailles. On note effectivement une très nette augmentation de la taille moyenne des populations lorsque l'agitation des eaux diminue. Cette augmentation se retrouve aussi bien chez les mâles que chez les femelles, et aussi bien chez les jeunes que chez les adultes

La mortalité annuelle de l'espèce dans les modes semi-battu et abrité est calculée selon une technique décrite par Ricker (1959). On note une diminution extrêmement nette de la mortalité lorsque l'agitation des eaux diminue :

86 % de mortalité annuelle à partir de 1 an pour le mode semi-battu

60 % de mortalité annuelle à partir de 1 an pour le mode abrité

Cette mortalité est à relier à la taille au-delà de laquelle les animaux ne représentent plus que 1 % de la population totale, soit :

mode battu h = 163 soit environ 3 ans,

mode semi-battu h = 177 soit 4 ans,

mode abrité h = 186 soit 4 ans et demi

La diminution de la mortalité annuelle permet donc une longévité plus grande lorsque l'agitation des eaux diminue. Ceci a comme conséquence de permettre l'observation de phénomènes de présénescence, voire même de sénescence pour peu que l'on s'adresse à une population de mode abrité, phénomènes qui sont masquées, à cause d'une mortalité importante, dans des modes plus agités.

### III. VARIATION DE LA FREQUENCE DES ETATS SEXUELS.

L'analyse des états sexuels est faite selon les critères employés par Bergerard (1975). Pour une taille donnée, on obtient ainsi la fréquence des différents états sexuels.

En transformant, à l'aide de l'équation de croissance, la taille en âge, il est possible de tracer le diagramme de probabilité qu'un animal ait un certain état sexuel en fonction de l'âge, et ce, pour un mode donné.

Ces diagrammes ne peuvent exprimer à la fois la fréquence des états sexuels pour un âge donné et la fréquence des animaux atteignant cet âge. Leur lecture doit donc tenir compte de la diminution très nette du nombre d'animaux concernés pour les grandes tailles.

L'analyse suivante ne concerne qu'un prélèvement : mi-juin, interprété à l'aide d'autres prélèvements couvrant la période de début mai à fin juillet. On possède donc l'image de l'état sexuel des populations en début d'été.

En effet, c'est à cette époque que l'on a rencontré le phénomène de reprise de maturité chez les mâles. Le cycle sexuel saisonnier des mâles est connu sur toute l'année pour le mode semi-battu, pour les autres modes, nous ne disposons que d'éléments épars. Les résultats pour le mode semi-battu servent donc de référence et de point de comparaison

#### 1. Les mâles :

La première conclusion que l'on peut tirer de l'étude des diagrammes des mâles est qu'il n'y a pas absence ou apparition d'une nouvelle catégorie d'état sexuel. Les trois modes présentent des mâles mûrs, régressés et en reprise de maturité. La seule différence est la fréquence relative des trois états sexuels.

Le cas du mode battu semble analogue à celui du mode semi-battu, à la différence près que l'évolution de la fréquence des différents états sexuels ne peut aller aussi loin que dans le cas des animaux de mode semi-battu où la longévité est plus importante. En première approximation, on peut dire que la fréquence des différents états sexuels pour un âge donné ne diffère pas d'un mode à l'autre. Tout se passe comme si la longévité plus courte des animaux dans le cas du mode battu ne permettait pas la totalité de l'évolution observée dans le cas des animaux de mode semi-battu.

Les animaux du mode abrité présentent, par contre, des différences autres. La fréquence des animaux régressés n'est jamais supérieure à 40 %.

Les animaux présentant une reprise de maturité sont rares. Ceci peut être interprété comme le signe d'un phénomène de reprise qui s'est déjà produit. Dans le cas des modes battu et semi-battu, le phénomène de reprise débute, alors que dans le mode abrité, il se termine.

On peut aussi avancer une autre interprétation qui ne considère, dans le cas du mode abrité, la régression et la reprise que comme un phénomène partiel

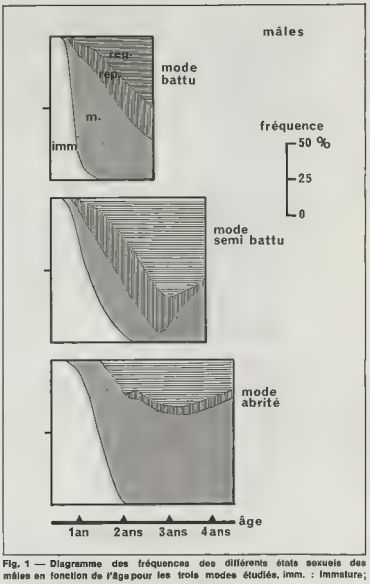



**Fig. 1 — Diagramme des fréquences des différents états sexuels des mâles en fonction de l'âge pour les trois modes étudiés. imm. : immature; m. mûr ; reg. : régressé ; rep. : reprise.**

n'intéressant qu'une partie de la population âgée. A part donc ces différences, il existe aussi un étalement plus important de l'évolution des états sexuels. L'évolution est complète dans les deux cas, à la différence du mode battu, mais, de par la durée de vie variable, elle dure plus ou moins longtemps selon l'agitation des eaux : en 3 ans et demi dans le cas du mode semi-battu, et en 4 ans et demi dans le cas du mode abrité.

En résumé, on peut dire que, dans le cas des mâles, l'évolution des états sexuels est tronquée si l'agitation des eaux est trop importante et que, si les conditions le permettent, le phénomène de reprise de maturité est plus précoce dans les modes abrité et semi-battu. L'évolution est néanmoins complète dans ces deux cas et elle dure toute la vie de l'animal. Cette hypothèse devrait se vérifier à l'aide de prélèvements échelonnés de mars à septembre, période durant laquelle on trouve des mâles régressés (mars) et des mâles en reprise (de juin à septembre, selon les conditions climatologiques).

#### 2. Les femelles :

Les travaux qui ont été menés sur *Littorina saxatilis rudis* à Roscoff n'ont pu mettre nettement en évidence un cycle sexuel annuel chez les femelles. La fréquence à peu près constante de femelles régressées, passé une certaine taille, ne permet pas de décrire un cycle. Il

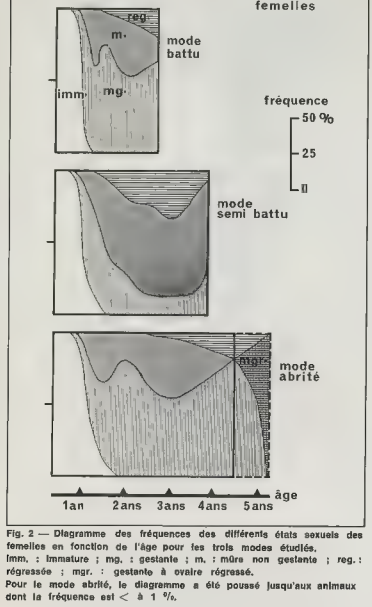



**Fig. 2 — Diagramme des fréquences des différents états sexuels des femelles en fonction de l'âge pour les trois modes étudiés.**
**Imm. : immature ; mg. : gestante ; m. : mûre non gestante ; reg. : régressée ; mgr. : gestante à ovaire régressé.**
**Pour le mode abrité, le diagramme a été poussé jusqu'aux animaux dont la fréquence est < à 1 %.**

existe toutefois un cycle annuel de reproduction déjà signalé par divers auteurs (Berry, 1961, James, 1968). Pour la station étudiée, le même cycle a été observé quoiqu'il y soit décalé dans le temps

L'observation des diagrammes montre que, dans tous les cas, le stade de gestation précède celui de la maturité sans embryons. Ceci semble illogique à première approche, la femelle devant être mûre sexuellement avant de pouvoir porter des embryons. La constance de l'observation en est pourtant une confirmation. La seule interprétation possible est que le passage du stade d'immaturité au stade de gestation est extrêmement rapide impliquant un stade de maturité sans embryons très fugace, donc difficile à observer

Chez les femelles, ce sont les modes battu et abrité qui montrent le plus d'analogie. Tout se présente comme si l'évolution était interrompue chez les animaux de mode battu par rapport à ceux du mode abrité. La longévité importante des animaux en mode abrité permet même l'apparition, dans les grandes tailles, d'une catégorie nouvelle : les femelles gestantes mais ayant l'ovaire régressé. Ce phénomène peut avoir deux interprétations : ou bien il ne s'agit que d'un état temporaire avec une reprise de l'activité de l'ovaire par la suite, ce qui suppose un cycle, ou bien il s'agit d'un état définitif qui doit être rapproché de la sénescence des mâles (Inagaki, 1973) Le mode semi-battu présente un accroissement important de la fréquence des femelles mûres non gestantes pour les grandes tailles. Accroissement qui pourrait laisser croire à un vieillissement des femelles. En fait, une stabilisation de cet accroissement pour les animaux de 4 ans laisse supposer qu'ici encore l'évolution est interrompue et que, si la longévité le permettait, il y aurait à nouveau augmentation de la fréquence des femelles gestantes. Le mode semi-battu ne différerait des deux autres que par cette amplification du stade mûre non gestante

## IV. DISCUSSION ET CONCLUSIONS.

La comparaison de la fréquence des états sexuels chez *Littorina saxatilis rudis* selon l'agitation des eaux montre que celle-ci a une influence certaine sur l'animal Cette influence semble surtout s'exercer par une longévité d'autant plus grande que le milieu est abrité. La longévité permettant, ou ne permettant pas, d'observer toute l'évolution sexuelle. Ceci semble être le cas dans les deux sexes, néanmoins il existe des différences entre ceux-ci. Chez les mâles, il semble qu'en dessous d'un certain niveau d'agitation l'évolution sexuelle soit toujours complète et occupe toute la vie de l'animal. L'évolution sexuelle n'est interrompue que si l'agitation des eaux dépasse un certain seuil. Par contre, chez les femelles, le cas observé est celui de l'interruption plus ou moins tardive de l'évolution sexuelle due à la variation de la longévité. Néanmoins, chez les femelles de mode semi-battu, d'autres facteurs semblent intervenir en amplifiant la fréquence des femelles mûres non gestantes dans les grandes tailles. La longévité exceptionnelle en mode abrité permet l'apparition de signes de cycle sexuel ou de sénescence avec les femelles gestantes et régressées

A partir de ces observations, qui ne portent actuellement que sur le début de l'été, on peut dire que l'agitation des eaux a, par le biais de la durée de la vie, une influence sur l'évolution sexuelle des animaux Cette influence se répercutant certainement sur la composition et la fécondité de la population, voire sur le cycle sexuel saisonnier lorsqu'il s'exprime. Une étude portant sur toute l'échelle de Ballantine (modes très battus et très abrités) risquant d'introduire un facteur de variation spécifique, nous ne nous sommes cantonné qu'aux 3 modes cités, modes où l'on est sûr de n'avoir que *Littorina saxatilis rudis.*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BALLANTINE W.J., 1961. — A biologically-defined exposure scale for the comparative description of rocky shores. *Fields Studies*, 1 (3), p. 1-19.

BERGERARD J., 1971. — Facteurs écologiques et cycle sexuel de *Littorina saxatilis* (Olivi) (Mollusques, Gastéropodes). *Cah. Biol. Mar.*, 12, p. 187-193

BERGERARD J., 1975. — Cycle sexuel saisonnier dans une population naturelle de *Littorina saxatilis* (Olivi) (Gastéropodes, Prosobranches). *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 100 (2), p. 133-145.

BERRY A.J., 1961 — Some factors affecting the distribution of *Littorina saxatilis* (Olivi) *J. Anim. Ecol.*, 30, p. 27-45

INAGAKI H., 1973. — Etude de Physiologie respiratoire sur la croissance dans la sénilité du mâle de *Littorina saxatilis* var. *rudis* (Olivi) (Gastéropode Prosobranche). Zoological magazine, 82, p. 42-47.

JAMES B.L., 1968. — The characters and distribution of subspecies and variates of *Littorina saxatilis* (Olivi) in Britain. *Cah Biol. Mar.*, 9, p. 143-145

MORETEAU J.-C., 1976. — Etude de la croissance de *Littorina saxatilis* (Olivi) *rudis* (Maton). *Cah. Biol. Mar.*, 17 (1976), p. 483-494

RICKER W.E., 1959 — Handbook of computation for biological statistics of fish population. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 119.

# Tissu de réserve et cycle sexuel chez les lamellibranches

*par P. LUBET, P. HERLIN, M. MATHIEU et F. COLLIN*

Laboratoire de zoologie et Laboratoire maritime de Luc-sur-Mer, U.E.R. des Sciences de la vie - Université de Caen, 14032 Caen

## RÉSUMÉ

Le tissu de réserve des Lamellibranches présente un développement cyclique qui alterne avec celui des gonades. Il accumule des métabolites (glycogène) qui sont progressivement libérés au cours du cycle sexuel et permettent de couvrir les dépenses énergétiques ainsi que la synthèse de lipides (sperme, vitellus des ovocytes). Une étude expérimentale, réalisée sur l'huître et la moule en cultures organotypiques suggère l'intervention d'un contrôle endocrinien de ces activités de synthèses et de dégradation.

## SUMMARY

The storage tissue of Pelecypods, sometimes incorrectly called connective tissue, comes from amoebocytes by differenciation of granulocytes and macrophages (Herlin, 1974).

The storage tissue is constitued, in all Pelecypods, by vesicular cells storing glycogen and in some families *(Arcidae, Mytilidae)* by addition of adipo-granular cells containing lipids droplets and protein granules.

The relationship between the evolution of storage tissue and the gonadal development is well established (Lubet, 1959), the storage tissue and the germinal tissue growing in two opposite directions.

The adipo granular cells, storing during the sexual resting stage, release metabolites during gametogeneses, showing by electron microscopic examinations a very complex cytological process of autophagy, lysis being followed sometimes by short periods of reactivation The gradual disappearance of adipogranular cells can be seen during the reproductive cycle of mussels but a certain number of cells reappear at the begining of each recovering stage (Herlin, 1974).

The vesicular cells accumulate glycogen reserves in the spring and summer, and then loose them during autumn, and early winter. They show (Herlin, 1974) stages of lysis followed by reactivation with differenciation of fibrous material.

Organ culture experiments carried out with mussels *(Mytilus edulis)* and oysters *(Crassostrea gigas)* suggest a neuro endocrinal control over the storage tissue and the germinal cells

Isolated storage tissue in organ culture experiments shows, with reference to the sexual evolution of the animal, a tendency of degeneration. The germinal cells disappear gradually.

Storage tissue, associated in organ culture experiments with cerebro-pleural ganglia, shows a release of metabolites. The gamatogenesis occurs normally.

Storage tissue associated in organ culture experiments with visceral ganglia shows a good accumulation of metabolites.

L'idée de relations entre les variations du tissu de réserve des Lamellibranches et leur état sexuel a fait l'objet de nombreux travaux. Les premières observations réalisées chez l'huître par Pekelharing (1902), Mitchell (1916), Russel (1923), Ozaka et Kobayashi (1925), mettent en évidence une chute du taux de glycogène au moment de la maturité sexuelle.

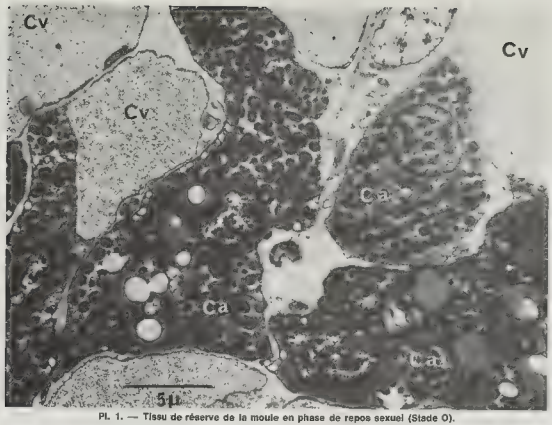
Daniel (1921-1923) retrouva ce phénomène chez la moule et fut le premier à établir une relation cytologique entre les fluctuations saisonnières du tissu de réserve et l'état sexuel des animaux. Ces données furent confirmées et complétées par Lubet (1959). Depuis, ce problème a été abordé par de nombreux auteurs à l'aide de méthodes cytologiques, biochimiques et expérimentales

### I. LES DONNEES CYTOLOGIQUES

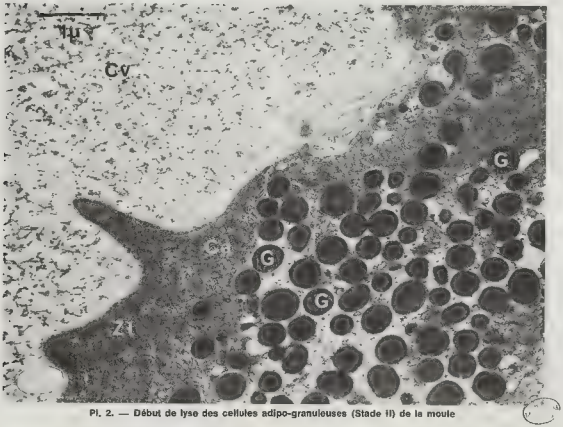
Le tissu de réserve des Lamellibranches, improprement désigné sous le nom de tissu conjonctif dérive vraisemblablement (Herlin, 1974) de la différenciation de cellules amibocytaires. Il est représenté, chez tous les Lamellibranches par des cellules vésiculeuses ou cellules de Leydig accumulant du glycogène, éléments auxquels s'ajoutent chez quelques familles *(Arcidae, Mytilidae)* des cellules adipo-granuleuses riches en grains protéiques et lipides. D'autres tissus (glande digestive, muscle adducteur des *Pectinidae)* peuvent également libérer des réserves

Chez l'huître, Bargeton (1942) a montré que le glycogène décelable histochimiquement diminuait au cours du cycle sexuel, ainsi que le nombre des cellules vésiculeuses. Chez la moule *(Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis)* le cycle des cellules vésiculeuses et des cellules adipo-granuleuses met en évidence un mécanisme très intime d'alternance entre le développement du tissu de réserve et celui de la lignée germinale (Lubet, 1959).

Au cours de la phase de repos sexuel, les cellules vésiculeuses se chargent en glycogène et les cellules adipo-granuleuses en granules protéiques et en lipides. Pendant la restauration de la gonade, les cellules adipo-granuleuses évacuent les produits accumulés selon des mécanismes complexes : exocytose, autophagie totale ou partielle, lyse totale. Avant de disparaître au cours




Pl. 1. — Tissu de réserve de la moule en phase de repos sexuel (Stade 0).




Pl. 2. — Début de lyse des cellules adipo-granuleuses (Stade II) de la moule

**Abréviations :**

ca = cellules adipo-granuleuses ; cv = cellules vésiculeuses ;
g = grains protéiques des cellules adipo-granuleuses ; zl = zones de lyse

du cycle sexuel, ces cellules peuvent réactivées et recommencer quelques synthèses. Elles réapparaissent à la fin de la période de reproduction (poussées germinales tardives) à partir de macrophages (Herlin, 1974 - Planches I et II).

Les cellules vésiculeuses présentent une phase d'accumulation de glycogène pendant la période de repos sexuel et le début de l'activité génitale. Elles évacuent progressivement leurs métabolites en se lysant mais peuvent présenter une phase de réactivation où elles synthétisent alors un matériel fibreux. Leur disparition

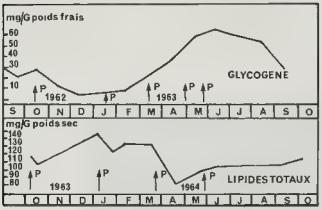



**Fig. 1. Variations annuelles du taux de glycogène et de lipides chez la moule** Mytilus galloprovincialis

est plus tardive que celle des cellules adipo-granuleuses. Elles réapparaissent également à partir de macrophages (Herlin, 1974).

Le matériel libéré au cours des lyses successives peut être absorbé par pinocytose par les cellules germinales. Les jeunes ovocytes réabsorbent également le matériel de lyse provenant d'ovocytes atrésiques (Herlin, 1974).

Chez la moule, la teneur en glycogène diminue en automne et en hiver (fig. 1 et 2) au moment de la reprise de l'activité génitale. Le métabolisme est alors élevé et les réserves de glycogène passent par un minimum en hiver. La synthèse du glycogène reprend (mars) pour atteindre les teneurs les plus élevées à la fin de la période de reproduction et pendant la phase de repos sexuel

Chez les huîtres (Waine, 1970), l'accumulation du glycogène précède le développement de la gonade et sa teneur diminue fortement pendant les mois d'hiver. Comely (1974), Ansell (1974) ont montré chez les Pectinidés que la croissance de la gonade est maintenue par les réserves protéiques et glucidiques du muscle adducteur.

L'utilisation des glucides et éventuellement des protides permet la synthèse de lipides très abondants dans le sperme et le vitellus des ovocytes (Lubet, 1959 ; De Longchamp et Lubet, 1969 ; Gabbott, 1975).

Les différentes voies métaboliques correspondantes ont fait l'objet de très nombreux travaux (voir Gabbott, 1975) ; elles sont maintenant assez bien élucidées. Eble (1969) a également pu montrer chez l'huître, par des méthodes histochimiques, la présence d'enzymes permettant la synthèse et la dégradation du glycogène. Celles-ci sont abondantes dans les cellules vésiculeuses situées dans le voisinage d'organes ayant une activité métabolique importante (glande digestive, épithéliums ciliés, gonade, rein, etc...).

## III. LES DONNEES EXPERIMENTALES

Il était important de rechercher les facteurs internes responsables de l'accumulation du glycogène ou de sa dégradation.

Lubet (1959-1969) par des ablations bilatérales des ganglions cérébroïdes avait pu montrer que les réserves ne semblaient pas être affectées par la décérébration.

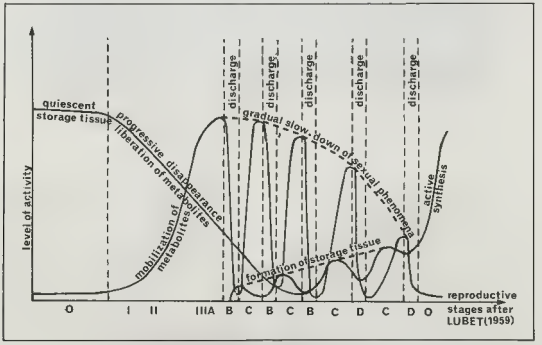



**Fig. 2. — Variations comparées du tissu de réserve en fonction de l'état sexuel chez la moule** Mytilus edulis

## II. LES DONNEES DE LA BIOCHIMIE

Le cycle sexuel semble intimement lié à l'utilisation du glycogène qui s'était accumulé dans le tissu de réserve (Gerritsen - Van Pelt, 1943-1945), Lubet (1959), Bourcart et Lubet (1965), De Zwaan et Zandee (1972), Dare (1973), Gabbott (1975).

Ces recherches ont été reprises par la technique des cultures organotypiques sur la moule *(Mytilus edulis)* et l'huître *(Crassostrea gigas)*.

### 1. Méthodes

Les pièces ont été prélevées sur des animaux en cours de période de reproduction, cultivées un mois sur milieu

de Streiff. Les fragments de gonades ont été cultivés, soit seuls, soit en association autologue (moule) avec des ganglions cérébroïdes ou viscéraux, soit en association hétérologue (huître + gg. de moule)

2. **Résultats**

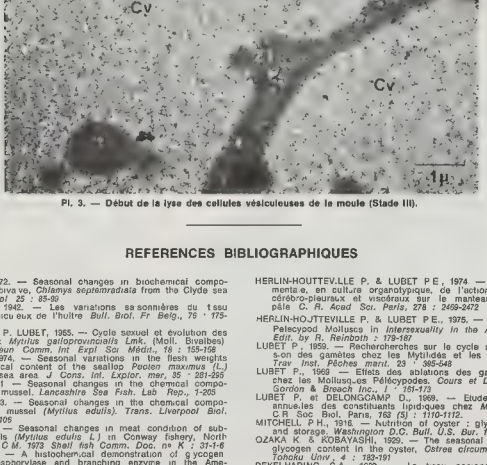
Les premiers résultats montrent que le tissu vésiculeux de l'huître ou les cellules vésiculeuses et adipogranuleuses de la moule se maintiennent mal en culture de gonade isolée en milieu anhormonal.

● **L'association gonade + ganglions cérébroïdes** autologues ou hétérologues montre que les cellules vésiculeuses et les cellules adipo-granuleuses présentent des phénomènes de lyse caractérisant la phase de gamétogenèse Par ailleurs, la lignée germinale est maintenue (Herlin et Lubet, 1974).

● **L'association gonade + ganglions viscéraux** autologues ou hétérologues montre, lorsque les cellules du tissu de réserve ne sont pas entrées dans une lyse trop importante, une restauration des synthèses assez comparable à ce qui peut être mis en évidence lors de la phase de repos sexuel (gonflement des cellules vésiculeuses, accumulation du glycogène, disparition des images de lyse).

**CONCLUSIONS**

Ces expériences préliminaires demandent à être complétées par de nombreuses recherches pratiquées sur des animaux à différentes étapes de leur cycle sexuel. Toutefois, on peut émettre l'hypothèse que les ganglions viscéraux favoriseraient, sans doute par leurs neurosécrétions, la mise en place des systèmes métaboliques permettant l'accumulation des réserves alors que les ganglions cérébroïdes provoqueraient par leurs neurosécrétions, la lyse cellulaire permettant la libération des substances **indispensables** à la gamétogénèse




**Pl. 3. — Début de la lyse des cellules vésiculeuses de la moule (Stade III).**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


ANSELL A.D., 1972. — Seasonal changes in biochemical composition of the bivalve, *Chlamys septemradiata* from the Clyde sea area *Mar. Biol 25 : 85-99*

BARGETON M., 1942. — Les variations saisonnières du tissu conjonctif vésiculeux de l'huître *Bull. Biol. Fr Belg., 76 : 175-191*

BOURCART C. et P. LUBET, 1955. — Cycle sexuel et évolution des réserves chez *Mytilus galloprovincialis Lmk.* (Moll. Bivalves) *Rap. P. V. Reun Comm. Int Expl Sci Médit., 13 : 155-158*

COMELY C.A., 1974. — Seasonal variations in the flesh weights and biochemical content of the scallop *Pecten maximus (L.)* (L) in Clyde sea area *J Cons. Int. Explor. mer, 35 : 281-295*

DANIEL R.J., 1921 — Seasonal changes in the chemical composition of the mussel. *Lancashire Sea Fish. Lab Rep., 1-205*

DANIEL R.J., 1923. — Seasonal changes in the chemical composition of the mussel *(Mytilus edulis). Trans. Liverpool Biol. Soc. 37 : 85-105*

DARE P.J., 1973 — Seasonal changes in meat condition of subtitoral mussels *(Mytilus edulis L.)* in Conway fishery, North wales *ICES, C.M. 1973 Shell fish Comm. Doc. n° K : 37-1-8*

EBIE A.F., 1969. — A histochemical demonstration of glycogen glycogen phosphorylase and branching enzyme in the American oyster. *Proc. Natu Shellfish Assoc., 59 : 27-34.*

GABBOTT P.A. 1975. — Storage cycles in marine bivalves. *Mintn Europ. Mar. Symp.* (H. Barnes Edit). *Aberdeen Univ. Press. : 191-212.*

GERRISTEN D.J. & VAN PELT J.C., 1943 — Teneurs en hydrate de carbone et facteur albumine de la chair de la moule *Rev Trav. Chim., 62 : 836-839.*

HERLIN-HOUTTEVILLE P., 1974. — Contribution à l'étude cytologique et expérimentale du cycle annuel du tissu de réserve du manteau de *Mytilus edulis* L. *Thèse Doc Biol Caen, 1974 1-114*

HERLIN-HOUTTEVILLE P. & LUBET P.E., 1974 — Analyse expérimentale, en culture organotypique, de l'action des ganglions cérébro-pleuraux et viscéraux sur le manteau de la moule pâle *C. R. Acad Sci. Paris, 278 : 2469-2472*

HERLIN-HOUTTEVILLE P. & LUBET P.E., 1975. — The sexuality of Pelecypod Molluscs in *Intersexuality in the Animal Kingdom Edit. by R. Reinboth : 179-187*

LUBET P., 1959. — Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les Mytilidés et les Pectinidés. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit. 23 : 385-548*

LUBET P., 1969 — Effets des ablations des ganglions nerveux chez les Mollusques Pélécypodes. *Cours et Doc en Biologie Gordon & Breach Inc., I : 161-172*

LUBET P. et DELONGCAMP D., 1969. — Etude des variations annuelles des constituants lipidiques chez *Mytilus edulis* L. C.R. Soc. Biol. Paris, *163 (5) : 1110-1112.*

MITCHELL P.H., 1916 — Nutrition of oyster : glycogen formation and storage. *Washington D.C. Bull. U.S. Bur. fish, 35 : 151-162*

OZAKA K. & KOBAYASHI, 1959. — The seasonal variation of the glycogen content in the oyster, *Ostrea circumpicta. Sci. Rep Tohoku Univ., 4 : 193-197*

PEKELHARING C.A., 1902 — Le tissu conjonctif de l'huître *Petrus camper D. 1 : 228-235*

RUSSEL E.S., 1923. — Report on seasonal variation in the chemical composition of Oysters *Fish. Invest. London, Ser. 2-6 : 1-10.*

WAINE P.R., 1970 — The seasonal variation of meat and glycogen content of seven populations of oysters *Ostrea edulis L. Fish Inv. London, Ser. 2, 26 (3) : 1-35.*

ZWAAN A. de & D.I. ZANDEE, 1972. — Body distribution and seasonal changes in the glycogen content of the common sea mussel *Mytilus edulis Comp. Biochem. Physiol. 43-A : 53-58*

# Influence de la température sur la ponte et le développement embryonnaire de deux mollusques gastéropodes prosobranches *Polinices alderi* (Forbes) et *Nassarius pygmaeus* (Lamarck)

*par A. BODOY et H. MASSÉ*

Station maritime d'Endoume - 13007 Marseille

## RÉSUMÉ

L'étude de l'influence de la température sur la ponte et le développement embryonnaire de *P. alderi* et *N. pygmaeus* montre que la première a des exigences thermiques plus strictes que la seconde, sa période optimale de ponte se limite à la présence des eaux froides hivernales en Méditerranée, alors que *N. pygmaeus* peut déborder cette période largement

D'une manière générale, la durée du développement embryonnaire décroît lorsque la température croît jusqu'à une limite moyenne de 25° C. Toutefois, le pourcentage de succès des éclosions a tendance à diminuer pour les températures supérieures à 20°.

Un écart thermique de 10° peut être supporté par les pontes de *N. pygmaeus* sans bloquer le développement embryonnaire, alors que ce n'est pas le cas pour *P. alderi*.

(1) Travail de recherche exécuté sous contrat nº 082 74 7 Env. F. du programme de Recherche sur l'Environnement des C.E.

## SUMMARY

The effect of temperature on spawning and on the rate of development of the egg of *P. alderi* and *N. pygmaeus* has been followed in experimental tanks under controlled-temperature conditions.

*P. alderi* spawns in the winter and early spring conditions of sea water temperature in Mediterranean sea, while *N. pygmaeus* is able to spawn and to reproduce over a longer period.

The time elapsed from the production of eggs to hatching of larvae decreases with temperature increase up to a limit of 25°. Nevertheless, the percentage of successfull hatchings decreases for temperatures upper than 20°.

Egg capsules of *N. pygmaeus* are able to support an increase of temperature of 10° while egg collars of *P. alderi* fail to hatch in such condition

Le déversement d'importantes quantités d'eau chaude dans le milieu marin va entraîner localement une augmentation de la température. Le plus souvent, l'étendue des zones soumises à une forte élévation de la température (5 à 10°) sera très restreinte et hors de ces zones les limites létales pour les espèces marines benthiques ne seront pas atteintes. Toutefois, une légère augmentation de la température est possible sur de plus grandes étendues, c'est pourquoi il nous a semblé intéressant de nous pencher sur les effets sublétaux de l'augmentation de la température par l'étude expérimentale de l'action de la température sur la reproduction de deux prosobranches, car la reproduction est toujours une phase délicate dans le cycle vital d'une espèce.

### I. MATERIEL ET METHODES

Les deux Prosobranches considérés *Polinices alderi (= Lunatia alderi)*, un naticidae prédateur perçant ses proies pour s'en nourrir, et *Nassarius pygmaeus (= Hinia varicosa)*, un nassariidae essentiellement nécrophage, fréquentent les substrats meubles de l'étage infra-littoral Toutefois, *P. alderi* a une répartition bathymétrique beaucoup plus large que *N. pygmaeus* et se récolte couramment dans l'étage circalittoral. Les animaux sont récoltés à la drague ou en plongée, dans un fond de sable fin à — 5 m de profondeur pour *N. pygmaeus*, et dans un sédiment hétérogène plus ou moins vaseux de — 10 à — 35 m pour *P. alderi*.

Comme la plupart des Prosobranches, ces deux espèces sont gonochoriques. Les sexes n'étant pas identifiables sur les animaux vivants, ceux-ci sont mis par lot de 4 à 6 individus dans des cages formées d'un tronçon de tuyau en P.V.C. de 20 cm de diamètre, et 15 cm de haut, fermé à ses deux extrémités par une toile de moustiquaire de 1 mm de maille. Ces cages sont posées sur le fond d'un aquarium constitué par un filtre à sable percolé en permanence grâce à un exhausteur à air comprimé (air-lift). Le fond des cages est rempli d'un sédiment identique à celui du biotope d'origine, pour permettre aux Gastéropodes de s'y enfouir.

Une batterie de 4 aquariums, fonctionnant en circuit semi-ouvert et à température contrôlée à 1° près, permet d'obtenir une gamme de 4 températures de 10, 15, 20 et 25° C, toute l'année.

Les nasses sont alimentées à l'aide de petits Bivalves de taille appropriée à celle du Prosobranche pour qu'il puisse les percer sans problème (Ansell, 1960 ; Massé, 1963). Les proies sont toujours présentes en excès. Les nasses sont alimentées plusieurs fois par semaine, à l'aide de Bivalves vivants écrasés.

Une inspection journalière des cages permet de récolter les pontes qu'il s'agisse des rubans circulaires incrustés de sable de *P. alderi* (Giglioli, 1955) déposés à la surface du sédiment, ou des oothèques (Thorson,

**TABLEAU I. — Durée moyenne, exprimée en jours, du développement embryonnaire, de la ponte à l'éclosion des véligères, en fonction de la température d'élevage des géniteurs et de la température à laquelle sont exposées les pontes.**

| Température d'élevage des géniteurs | Température d'incubation des pontes | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 10° | 15° | 20° | 25° |
| *Polinices alderi* | | | | |
| 10° | 24,6 ± 1,2 | 18,0 ± 1,1 | 14,7 ± 2,4 | — |
| 15° | 23,4 ± 1,5 | 16,4 ± 0,6 | 11,4 ± 1,2 | 7,5 ± 0,6 |
| *Nassarius pygmaeus* | | | | |
| 10° | 31,9 ± 1,4 | 15,1 ± 3,8 | 77 ± 1,3 | — |
| 15° | 29,2 ± 2,9 | 12,0 ± 1,7 | 7,6 ± 0,6 | 6,4 ± 0,5 |

1946) accrochées sur la toile supérieure des cages par *N. pygmaeus*. Les pontes sont transférées dans de petites cages flottantes constituées d'un petit cylindre en P.V.C. de 8 cm de diamètre, et 6 cm de haut, fermé à une extrémité par une toile de filet à plancton de 90 µ de maille. La flottabilité de la cage est assurée par un collier de polystyrène expansé.

Les pontes ainsi obtenues peuvent être maintenues à la température à laquelle vivent les géniteurs, ou transférées dans d'autres bacs à une température différente. Deux facteurs vont donc varier, d'une part, la température à laquelle vivent les géniteurs au moment de la ponte, et, d'autre part, la température à laquelle s'effectue le développement embryonnaire.

## II. RESULTATS

### a) Polinices alderi

Il est très facile de connaître, pour cette espèce, la durée du développement embryonnaire comprise entre la ponte et l'éclosion des véligères, car celle-ci se fait simultanément pour l'ensemble des coques ovigères entraînant une désagrégation de la ponte. Les résultats présentés dans le tableau 1 concernent les moyennes des durées de développement exprimées en jours, avec un intervalle de confiance de 95 %. Ils sont obtenus à partir de 65 pontes, récoltées à 10 et 15° seulement. Notons que les pontes apparaissent plus tôt à 15° qu'à 10°, ce qui est en accord avec les observations de Barnett (1972).

Comme nous le voyons, la durée du développement embryonnaire est fonction de la température, celle-ci est d'autant plus longue que la température est basse, dans l'intervalle considéré. Toutes les pontes n'arrivent pas à éclosion, un certain nombre d'entre elles sont arrêtées dans leur développement, et l'observation des capsules ovigères montre que les embryons ont avortés, généralement avant la formation de la protoconche.

Dans le tableau 2, les pourcentages de développements réussis sont portés en fonction de la température d'élevage des géniteurs et de la température d'incubation des pontes. Si les températures de 10 et 15° sont particulièrement favorables au développement des embryons de *P. alderi*, il n'en est pas de même à 20°, et encore moins à 25°, où les pourcentages marquent une décroissance importante.

Nous constatons aussi que le choc thermique auquel les pontes sont soumises joue un rôle important. Un écart de 10° semble très mal supporté chez les pontes obtenues à 10° et transférées à 20°. De même, la détermination graphique des températures létales pour 50 % des embryons (T.L.50), effectuée en portant en abscisses les températures d'expérience et en ordonnées les pourcentages d'éclosions, montre une différence nette entre les pontes obtenues à 10° et celles obtenues à 15°. Ces valeurs des T.L. 50 sont excessivement faibles si l'on considère les températures moyennes en Méditerranée nord-occidentale

### b) Nassarius pygmaeus

Chez cette espèce, l'éclosion est définie par l'ouverture de l'oothèque qui précède immédiatement la libération des véligères (Christiansen, 1964). La durée du développement embryonnaire correspond à l'éclosion de 50 % des oothèques, car il n'y a pas simultanéité pour l'ensemble des oothèques récoltées lors du contrôle d'une cage.

Le tableau 1 montre que l'accélération du développement, en fonction de la température, est encore plus nette chez cette espece que chez *P. alderi*. La durée du développement embryonnaire de *N. pygmaeus* se montre très dépendante de la température et l'écart des valeurs observées est très important, à l'intérieur de la gamme de températures considérée.

**TABLEAU II. — Pourcentage de réussite dans les éclosions en fonction de la température d'élevage des géniteurs et de la température à laquelle sont exposées les pontes. Les croix correspondent à des valeurs trop faibles pour le calcul de pourcentages significatifs. Les T.L. 50 sont celles des embryons.**

| Température d'élevage | Température d incubation des pontes | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10° | 15° | 20° | 25° | T.L. 50 |
| *Polinices alderi* | | | | | |
| 10° | 100 | 100 | 33 | 0 | 18,7° |
| 15° | 100 | 95 | 62 | 36 | 22,3° |
| *Nassarius pygmaeus* | | | | | |
| 10° | 78 | 70 | 54 | 20 | 20,5° |
| 15° | 62 | 75 | 78 | 64 | > 25° |
| 20° | + | + | + | + | |

Le tableau 2 montre que le pourcentage des développements réussis n'atteint jamais 100 %. Il existe toujours un nombre plus ou moins important d'oothèques n'arrivant pas à éclosion. Nous observons également, par rapport à *P. alderi*, un net décalage des pourcentages de réussite d'éclosion vers 20 et 25°, pour les pontes obtenues à 15°. Les températures létales (T.L.50) des embryons sont aussi plus élevées que pour *P. alderi*, et ceci d'autant plus qu'il existe une mortalité résiduelle, non liée à la température, de l'ordre de 25 %. De plus, le choc thermique qui survient lors du transfert des pontes à des températures plus élevées est mieux supporté que chez *P. alderi*. Un écart de 10° peut être supporté sans trop de dommage pour la reproduction. Cependant, nous pouvons signaler que le nombre des pontes obtenues à 20° est faible

## III. DISCUSSION

Il est intéressant de noter l'incidence de ces données sur la biologie et l'écologie de *P. alderi*, d'un point de vue biogéographique. Cette espèce, que l'on peut considérer comme vivant à la limite de sa distribution méridionale en Méditerranée, se reproduit, selon nos observations, en hiver et au début du printemps, pendant la présence des eaux froides. De plus, elle vit rarement dans l'infralittoral supérieur et de ce fait évite les conditions eurythermes des eaux superficielles. Dans les mers septentrionales, au contraire, cette espèce vit dans les eaux superficielles, à la limite de la zone intertidale (Ansell, 1960), et elle doit attendre le retour des eaux printanières et estivales (10 à 15°) pour se reproduire.

Ceci nous amène à émettre quelques réserves sur les observations de Richter et Thorson (1975) concernant la présence des larves de *P. alderi (Lunatia alderi)* dans le méroplancton du golfe de Naples en juillet-août. Etant donné la difficulté d'identification de certaines larves de Prosobranches du méroplancton, nous pouvons nous demander s'il n'y a pas eu de confusion avec les larves d'une autre espèce, en particulier *P. guillemini*, espèce très proche qui semble se reproduire plus tard dans l'année

Par contre, nos données sont en accord avec celles de Richter et Thorson, en ce qui concerne la présence des véligères de *N. pygmaeus (Hinia varicosa)* dans le méroplancton du golfe de Naples. Cette espèce, plus superficielle que *P. alderi*, supporte mieux les écarts de température et peut se développer aussi bien en hiver qu'en été, dans les conditions thermiques de la Méditerranée nord-occidentale.

L'étude expérimentale entreprise dans ce travail montre qu'il existe une possibilité d'élucider certaines incertitudes dans l'identification des larves méroplanctoniques de prosobranches, par l'obtention de celles-ci en élevage à partir de géniteurs bien identifiés. Il serait d'ailleurs intéressant de poursuivre cette étude par l'élevage des véligères, afin de tester leur résistance à la température. En effet, ces dernières appartiennent au méroplancton superficiel, et de ce fait, elles sont susceptibles de subir l'effet des pollutions thermiques, soit en atteignant une nappe d'eau chaude, soit en étant entraînées dans le circuit de refroidissement d'une centrale électrique, cette dernière éventualité étant la plus préjudiciable

## BIBLIOGRAPHIE


ANSELL A.D., 1960. — Observation on predation of *Venus striatula* by *Natica alderi (Forbes). Proc. malac. Soc. London*, 34 : 157-164.

BARNETT P.O.R., 1972. — Effects of warm water effluents from power stations on marine life. *Proc. R. Soc. London*, B, 180 : 497-509

CHRISTIANSEN M.E., 1964. — Some observation on the larval stage of the gastropod *Nassarius pygmaeus*. *Publ. Staz. zool. Napoli*, 34 : 1-8

GIGLIOLI M.E.C., 1955. — The eggs masses of the Naticidae (Gastropoda). *J. Fish Res. Bd. Canada*, 12 (2) : 287-327

MASSÉ H., 1963. — Quelques données sur l'économie alimentaire d'une biocénose infralittorale. *Rec. Trav. Stn mar. Endoume*, 31 (47) : 153-166.

RICHTER G., THORSON G., 1975. Pelagische Prosobrenchier-larven des Golfes von Neapel. *Ophelia*, 13 (1) : 109-185.

THORSON G., 1946 — Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates *Medd. Komm. Denm. Fisk Og Havunders. Ser. Plank.*, *4 (1)* : 1-523


*
**

# Effets du groupement et du volume disponible sur la sexualité du mollusque nudibranche *Eubranchus doriae* (Trinchese 1879)

*par J. TARDY - M. DUFRENNE*

Laboratoire de biologie et biochimie marines - UER SFA - Université de Poitiers - IUT de La Rochelle - 17026 La Rochelle Cedex

## RÉSUMÉ

Des *Eubranchus doriae* sont élevés isolément ou par couple à partir de la metamorphose, dans des bacs de telle sorte que chacun d'eux dispose de volume 1 (= 140 ml), 1/2, 1/4, 1/8 d'eau de mer renouvelée deux fois par semaine, les autres paramètres étant constants. Les dates de ponte, leur nombre produit par individu ou par couple et le nombre d'œufs par ponte sont notés dans chaque série. Les résultats sont les suivants : *E. doriae* n'est ni autofécond, ni parthénogénique. L'isolement complet aboutit pour la majorité à la mort des individus, parfois par éclatement, sans qu'ils déposent de ponte. Le groupement par couple et l'augmentation du volume disponible favorise la production d'œufs des animaux en élevage

## SUMMARY

*Eubranchus doriae* samples are loneliness or by couple reared from the metamorphosis, in tanks with sea water volume: 1 (= 140 ml), 1/2, 1/4, 1/8, changed two times for a week. The other factors are maintened constant. Laying data, their number for an animal or a coupe, and the number of eggs by laying are noted in each serie

Results show that *Eubranchus doriae* is neither autofertile nor parthenogenetic. The comp-ete isolation leads to death of the majority of animals, sometimes by rupture, without laying deposition. Grouping by couple and increasing of the available volume favour the eggs production by the breeded animals.

Dans le cadre des recherches que nous poursuivons sur l'Ecophysiologie des Mollusques Opisthobranches (Chevalier, Mocquard, Tardy, 1974), nous avons cherché à déterminer quels étaient les effets du volume disponible, de l'isolement, ou de la disposition par couple de l'Aeolidiacé *Eubranchus doriae*.

Cette espèce possède des caractéristiques biologiques exceptionnelles, qui en font un bon matériel dans ce type d'expérience : Rappelons, comme l'un d'entre nous l'a démontré (Tardy, 1962), que tout le cycle peut être obtenu au laboratoire : les embryons sont, en effet, riches en vitellus, si bien que la phase planctotrophique n'est pas nécessaire ; la vie pélagique très courte (2 à 3 jours), assure seulement la dispersion des larves. D'autre part, la véligère dépend spécifiquement de l'Hydraire calyptoblastique *Kirchenpaueria pinnata* et la métamorphose ne peut se réaliser en l'absence de ce Cnidaire commun sur nos côtes ; ainsi peut-on dans une

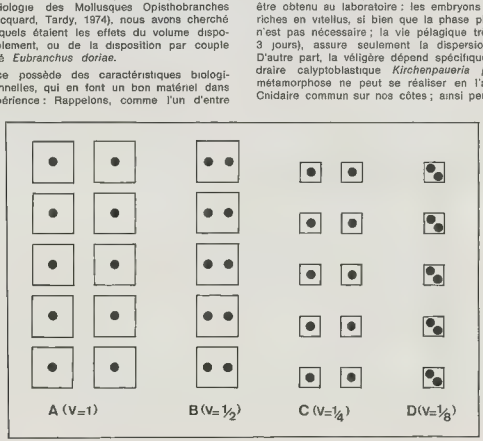



Fig. 1

certaine mesure, contrôler la métamorphose et, partant, la date précise de mise en expérience. Enfin, la durée de vie est, à 20° C, de l'ordre de 6 à 8 semaines, permettant d'obtenir des résultats avec une relative rapidité

## I. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Des *E. doriae* soit isolés, soit disposés par couple, sont placés dans deux types de bacs en matière plastique servant d'aquarium. Ces bacs sont tels que les plus petits ont une capacité volumétrique égale au quart de celle des plus grands. Nous avons réalisé ainsi quatre séries expérimentales A, B, C et D : (fig. 1) les dix grands bacs de la série A contiennent chacun un individu dans un grand volume (soit 1 volume ou 140 ml d'eau de mer par individu) ; les cinq grands bacs de la série B contiennent chacun deux individus (soit 1/2 volume ou 70 ml d'eau de mer par individu) ; les dix petits bacs de la série C contiennent un individu chacun (soit 1/4 de volume ou 35 ml par individu) ; enfin, les cinq petits bacs de la série D contiennent chacun deux individus (soit 1/8 de volume ou 17,5 ml par individu).

L'ensemble est maintenu dans une enceinte thermostatée à 20° C, avec un éclairement uniforme de 8 heures à 20 heures, par des tubes Sylvania VHO, type lumière du jour.

L'eau est entièrement renouvelée deux fois par semaine ainsi que la nourriture (une à deux branches d'Hydraire frais dont on a eu soin d'éliminer toute larve, qui d'aventure, pourrait s'y trouver et supprimerait ainsi toute signification aux résultats expérimentaux). Les larves ont été mises en expérience à l'état de véligère en diapause ; toutes provenaient de deux pontes déposées le même jour par les géniteurs maintenus en élevage

Ainsi, toutes autres conditions identiques, avons-nous pu étudier statistiquement l'influence du volume d'eau à disposition et celle de l'isolement ou de la mise par couple de ce Nudibranche sur sa croissance (qui ne sera pas étudiée ici) et sur sa sexualité.

## II. RESULTATS

### a) Effet de l'isolement : (séries A et C)

L'isolement complet donne les résultats suivants : 60 % des individus déposent des pontes dont les œufs ne se segmentent pas et ne produisent, par conséquent, aucun embryon. 40 % des animaux meurent sans déposer de ponte ; parmi ceux-ci, 35 % précocement par éclatement (probablement à la suite de l'hypertrophie de la gonade, consécutive à l'absence d'évacuation des produits germinaux (fig. 2) et 5 % meurent sans avoir pondu (approximativement à l'âge où meurent habituellement les individus élevés par couples, ou élevés isolément mais qui ont pondu).

### b) Effet de la mise par couple : (séries B et D)

Les individus élevés par couple produisent des pontes parfaitement fertiles aboutissant à la libération de larves véligères au bout de 10 jours à 20-22° C.

Il n'apparaît pas de différence sensible en ce qui concerne la précocité entre les individus isolés ou couplés, quel que soit le volume des bacs d'élevage : des pontes ont été déposées en même temps, à un jour près, dans chacune des séries

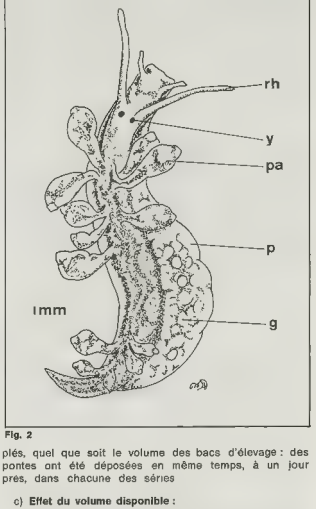


Fig. 2

### c) Effet du volume disponible :

Si les séries A et C ne permettent pas l'analyse, par suite du comportement des *E. doriae* isolés, les séries B et D donnent des résultats particulièrement nets comme le montre le tableau ci-dessous :

| LOTS EXPERIMENTAUX | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| Nombre moyen de pontes par individu | 0,8 | 4,4 | 1,1 | 2,9 |
| Nombre moyen d'œufs par ponte ... | 39 | 35 | 24 | 26 |
| Nombre moyen d'œufs pondus par individu ..... | 31 | 156 | 27 | 76 |

Ainsi pour un volume disponible quatre fois supérieur, la production des embryons est double (76 embryons produits en moyenne pour la série D, contre 153 pour la série B).

## III. DISCUSSION

### a) Isolement et groupement :

Il ressort des résultats enregistrés qu'*Eubranchus doriae* n'est ni parthénogénétique ni autofécond. Il semble que ces propriétés soient peu fréquentes chez les Nudibranches puisque, parmi les espèces déjà testées. *(Tenellia ventilabrum, Aeolidia papillosa, Aeolidiella sanguinea, Aeolidia glauca, Aeolidia alderi)* seule cette dernière, isolée, est susceptible de fournir des pontes fertiles. Y a-t-il une relation entre cette faculté et la richesse exceptionnelle des œufs *d'Aeolidia alderi* en vitellus ? Il serait intéressant de reprendre de telles expériences

avec des Nudibranches dont les œufs sont de ce type *(Aeolidiella mannarensis, Cuthona pustulata, Trinchesia granosa...)* : en effet, aucune différence dans la structure de l'appareil génital des divers *Aeolidiacea* citées ne peut être décelée, si ce n'est celle des gamètes. En ce qui concerne les individus isolés qui ont éclaté, indiquons que l'un de nous (J. T.) a pu noter ce même phénomène chez *Tenellia ventilabrum* élevée isolément depuis la véligère jusqu'à maturité (observation inédite).

Quelle peut-être la cause des phénomènes observés ? Il semble bien — comme nous l'avons dit — que ce soit la rétention des gamètes qui provoque l'hypertrophie de la gonade et l'éclatement de l'animal. Cette rétention pourrait être due à une oblitération naturelle, assez fréquente de la voie femelle : dans ce cas, l'accouplement pourrait ouvrir la voie femelle et permettre l'évacuation des produits génitaux. Il n'est pas inutile de rappeler à cet effet que le pénis d'*Eubranchus doriae*, comme celui de *Tenellia ventilabrum*, est armé d'un fourreau chitineux terminé par un fin crochet, à l'extrémité duquel s'ouvre le pore génital mâle : on conçoit aisément, dans ce cas, quel rôle mécanique peut jouer cette armature.

Notons qu'aucune des pontes produites par les individus isolés n'a montré de malformation traduisant une imparfaite perforation des voies génitales hermaphrodite ou femelle. Quoi qu'il en soit, une étude histologique d'individus isolés sur le point d'éclater doit permettre de vérifier le bien fondé de l'hypothèse de l'occlusion de la voie femelle et son niveau.

Il est cependant possible qu'il s'agisse de mécanismes très différents, relevant de la physiologie ; l'accouplement pourrait déclencher la ponte comme cela est connu chez des Crustacés Isopodes Oniscoïdes : *Porcellio dilatatus* (Legrand, 1958), *Armadillo officinalis* (Mead, 1973), ainsi que divers Mammifères : lapine, chatte, par exemple. Chez divers Arthropodes, il y a également une action sur la vitellogenèse finale. Tout récemment, Besse (1976) a pu faire une fine analyse des mécanismes déclencheurs de la vitellogenèse et de la ponte chez *Porcellio dilatatus* et penche pour une stimulation chimique par le liquide séminal. Cet auteur résume les résultats obtenus chez les Insectes où des travaux plus avancés ont permis de préciser les mécanismes variés qui sont en cause : dans le cas des blattes, la copulation équivaudrait à une stimulation physique de mécanorécepteurs situés sur ou à côté de l'appareil génital, déterminant le transfert de l'information par voie nerveuse (Engelmann, 1970 ; Roth, 1970).

Dans d'autre cas, ce sont les spermatozoïdes, par stimulation mécanique des conduits génitaux, qui sont responsables du déclenchement de la ponte (Carayon, 1970, sur des Hémiptères). Enfin, ce peut être le liquide séminal qui est le déterminant : (Huiguard, 1970, chez *Acanthoscelides obtectus* (Coléoptère Bruchidae) ; Merle 1970, chez la drosophile : Leahy, 1970, chez les moustiques et mouches des fruits) une transmission chimique de l'information est mise en avant dans ce dernier cas pour expliquer les phénomènes observés.

Chez *E. doriae*, il semble bien que ce soit la ponte seule qui soit (et pas toujours) sous la dépendance de l'accouplement : en effet, la vitellogenèse semble parfaitement normale comme en témoigne la taille identique des œufs fécondés.

De nouvelles recherches s'imposent pour, dans un premier temps, déterminer quelle est, des deux hypothèses envisagées, celle qui doit être retenue.

Il ressort de ces observations que l'isolement de spécimens d'*Eubranchus doriae* réalisé expérimentalement ne correspond pas aux conditions habituelles dans la nature.

De ce fait, aucune comparaison sur le plan de la productivité ne peut être établie entre les individus couplés et isolés. Par contre, en ce qui concerne la précocité nous avons indiqué que lorsqu'il y a ponte, celle-ci survient sensiblement en même temps chez les isolés et les couplés, quel que soit le volume : apparemment, il n'y aurait aucune influence des facteurs étudiés sur ce point. Cependant, l'interprétation de ce résultat reste délicate : compte tenu de la vitesse avec lequel un cycle vital est réalisé, d'éventuelles différences sont peut-être difficiles, voir impossibles à déceler.

b) **Volume disponible :**

L'influence remarquable des variations de ce paramètre sur la productivité amène à deux hypothèses explicatives : il peut s'agir d'un effet de masse, les déchets du métabolisme qui s'accumulent ayant une action inhibitrice sur la fonction de reproduction, ou d'un effet de groupe. Dans ce cas, des substances de type phéromone ou (et) les contacts entre individus (contacts dont le nombre et la fréquence sont statistiquement favorisés par la réduction du volume) auraient un rôle inhibiteur sur la fertilité des individus, comme cela est connu chez les criquets (Norris, 1968). La mise en place d'un nouveau programme expérimental devrait nous permettre de préciser quels sont les mécanismes mis en cause dans la réalisation des processus observés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BESSE G., 1976. — Contribution à l'étude expérimentale de la physiologie sexuelle femelle chez les Crustacés Isopodes terrestres. *Thèse Sc. Nat., Université de Poitiers*, CNRS-AO n° 13017

CARAYON, 1970. — Action du sperme sur la maturation des ovaires chez les Hémiptères. à l'insémination traumatique. *In : Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des Insectes. Colloque CNRS Tours*, 215-245.

CHEVALIER F., MOCQUARD J.-P., TARDY J, 1974 — Croissance et précocité d'*Asellodella sideri* (Cocks), (Mollusque Nudibranche) : Effets du groupement et de la température *Bull. Soc Zool. Fr*, 99, 4, 601-621

ENGELMANN, 1970 b. — Stimulation of mecanoreceptors as related to reproductive activity in certain insect species. *In : Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des Insectes Colloque CNRS Tours*, 237-266

GRASSE P.P., 1946 — Sociétés animales et effets de groupe. *Experientia*, 11, 262-291.

FRANC A., 1958 — Traité de Zoologie. Mollusques Gastéropodes et Scephopodes 5, 3, 1-1083 Masson.

HUIGNARD, 1970. — Analyse expérimentale de certains stimuli externes influençant l'oviposition chez *Acanthoscelides obtectus* Say (Coléoptères, Bruchidae). *In : Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des Insectes. Colloque CNRS*, Tours, 357-379

LARAMBERGUE M., 1939. — Etude de l'autofécondation chez les Gastéropodes Pulmonés. *Bull. Biol.*, 73, 21-231.

LARAMBERGUE M. et ALPHILIPPE F., 1959 — Observations sur la reproduction des achatines (Gastéropodes Pulmonés) en élevage *C.R Soc. Biol.*, 153, 1143-47.

LEAHY, 1970. — Effect of the male accessory gland secretion on Mosquitos and Fruit Flies. *In .. Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des Insectes. Colloque CNRS, Tours*, 297-309

LEGRAND J.-J., 1958 b. — Induction de la maturité ovarienne et de la mue parturiale par fécondation chez l'Oniscoïde *Porcellio dilatatus*. *C.R. Acad. Sc.*, 247, 754-757.

LISON L., 1958. — Statistique appliquée à la biologie expérimentale. La planification de l'expérience et l'analyse des résultats. Gauthiers Villars, Paris

MEAD R., 1973. — Recherches sur la reproduction et le comportement sexuel des Isopodes terrestres. *Thèse Sc. Nat., Université de Provence*, CNRS AO n° 8177.

MERLE, 1970. — Rôle des sécrétions génitales mâles dans la physiologie de la Drosophile femelle *In : Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des Insectes. Colloque CNRS Tours*, 311-330.

MOCQUARD J.-P., 1971. — Essai d'application de méthodes statistiques à l'étude de la croissance et de certains de ses facteurs : effet du groupement, contrôle neurohumoral et facteurs sexuels chez quelques Oniscoïdes (Crustacés Isopodes) *Thèse Sc Nat., Université de Poitiers*, CNRS-AO n° 6467

NORRIS M.J., 1968. — Some group effects on reproduction in Locusts. *In : Effet de groupe chez les animaux. Colloque CNRS*, 147-161

ROTH, 1970. — The stimuli regulating reproduction in cockroaches : Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des Insectes *In : Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des Insectes. Colloque CNRS, Tours*, 215-243

TARDY J., 1962 — Observations et expériences sur la métamorphose et la croissance de *Capellinella exigua* (Mollusque Nudibranche) *C.R Acad. Sc.*, 254, 2242-44

TARDY J., 1969. — Contribution à l'étude des Nudibranches. *Thèse Sc. Nat., Université de Poitiers*, CNRS-AO n° 3287

# THEME 3
# ALIMENTATION - CROISSANCE

# A critical review on some aspects of filter-feeding in lamellibranchiate bivalves

*by Jürgen E. WINTER*

Institut für Meeresforschung
Bremerhaven, Federal Republic of Germany

## RÉSUMÉ

La compréhension de la bioénergétique des bivalves exige la connaissance de l'activité nutritive et de la quantité ainsi que de la qualité de la nourriture ingérée, elle requiert aussi une estimation de la relation entre le métabolisme et la croissance. Les principes du mécanisme de filtration de la nourriture chez les bivalves filtreurs est décrit, avec une référence à la sélection de la nourriture, l'efficacité de rétention particulaire, production de mucus et formation de pseudo-feces.

Un condensé critique sur les méthodes utilisées pour déterminer les taux de filtration est donné. Des expériences de laboratoire sur l'activité de filtration de la nourriture conduites en relation avec la taille du corps, la température et la concentration de la nourriture, sont discutées. Les relations entre la taille du corps et le taux de filtration, le taux de pompage, la consommation d'oxygène et le réseau branchial, sont exprimés en fonction du poids sec du tissu (W) par l'équation énergétique générale . $Y = aW^b$ où Y est la variable dépendante et « a » et « b » sont des constantes des conditions expérimentales spécifiques

L'accent est mis sur le rapport entre la concentration en nourriture et la quantité de nourriture ingérée. La quantité journalière de nourriture ingérée, exprimée en pourcentage de poids sec de tissu, est utilisée comme un indice de l'activité nutritive, écologiquement applicable

Les données concernant l'assimilation et l'obtention de forts grossissements sous diverses conditions expérimentales sont présentées. Une nouvelle présentation schématique des interrelations existant entre la température, la concentration en nourriture et la quantité de nourriture (protéine) assimilée est donnée. La ration d'entretien est décrite comme une fonction de la taille du corps. La croissance sous l'action de différents régimes alimentaires est discutée avec référence aux applications en aquaculture.

## SUMMARY

An understanding of bioenergetics of bivalves requires knowledge of the feeding activity and the quantity and quality of food ingested and estimates of the relation between metabolism and growth. The principles of the mechanism of filter-feeding in suspension-feeding bivalves are described, with special reference to food selection, particle retention efficiency, production of mucus and formation of pseudofaeces.

A critical summary on the methods used for determining filtration rates is given. Laboratory experiments on the filter-feeding activity carried out in relation to body size, temperature and food concentration are discussed. Relations between body size and filtration rate, pumping rate, oxygen consumption and gill area expressed as functions of drytissue weight ("W") by the general power function $Y = aW^b$, where "Y" is the dependent variable, and "a" and "b" are constants at specific experimental conditions

Emphasis is laid on the relationships between food concentration and the amount of food ingested. The daily amount of food ingested, expressed as percentage of dry-tissue weight, is used as an ecologically relevant index of feeding activity.

Data on assimilation and gross growth efficiencies under different experimental conditions are presented. A new schematic presentation of the interrelationships existing between temperature, food concentration and the amount of food (protein) assimilated is given. Maintenance ration is described as a function of body size. Growth under different feeding regimes is discussed, with special reference to aquaculture application.

## I. INTRODUCTION

Filter-feeding organisms are of considerable importance within the framework of the complex questions dealing with "metabolism at the bottom of the sea" and "food chains in the sea". As consumers of plankton, bacteria and non-photosynthetic microorganisms associated with organic debris (organic detritus), filter-feeding bivalves represent important first and final links in numerous food chains. An understanding of bioenergetics of bivalves requires knowledge of the feeding activity and the quantity and quality of food ingested and estimates of the relation between metabolism and growth.

This review is concerned with a critical summary on filter-feeding activity, particle retention efficiency, ration of food ingested, assimilation efficiency, maintenance ration and growth in lamellibranchiate bivalves. The discussion on growth, however, is restricted to feeding experiments which are suitable to elucidate the complex integrations at least of some of the activities mentioned above. Furthermore, this review is mainly restricted to a representation of the activities of sublittoral bivalves The activities of intertidal bivalves on which a rhythmic pattern of feeding is imposed, should be discussed separately. It is quite clear that intertidal bivalves have to compensate, at least to a certain degree, for non-feeding periods by periods of increased activity; a feeding pattern which is completely different from continuously feeding sublittoral bivalves

## II. FILTER-FEEDING MECHANISM OF LAMELLIBRANCHIATE BIVALVES

### 1. Ciliary tracts and water current

In the lamellibranchiate bivalves, the gills represent the main food collecting organs. They are well equipped to create a current of water (lateral cilia) and to collect (eu-latero-frontal cirri) and to transport (frontal cilia) particulate material. The frontal cilia transport the collected particles, bound in mucus strings (Bernard, 1972), to the marginal grooves, the ciliary tracts of which in turn carry the retained particles via the palps to the mouth

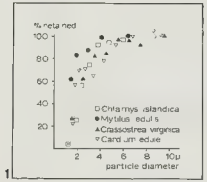
The different ciliary tracts have been investigated in considerable detail for many bivalves (for a summary of literature see Atkins, 1937 ; Winter, 1969 ; Owen, 1974 a, b ; Jorgensen, 1975 b ; Bayne et al., 1976 c, d), and from these investigations it is obvious that many bivalves, with respect to their ciliary equipment, are well adapted to the conditions of their specific natural environment.

More recently, Moore (1971), then Owen (1974 b) and Jorgensen (1975 b) have examined the micro-structure of the eu-latero-frontal cirri and have shown that these cirri form a mesh which has the dimensions of 0.6 µm by either 2.4 µm or 4.8 µm

### 2. Control of pumping rate and particle retention efficiency

Fox, Sverdrup and Cunningham (1937), Fox and Coe (1943), Tammes and Dral (1955) and Jorgensen (1955) pointed out that small particles, down to colloids, are retained by *Mytilus edulis* and *Mytilus californianus*. More recently, comprehensive studies on the efficiency of particle retention have been carried out by Haven and Morales-Alamo (1970), Vahl (1972 a, b, 1973 a, b) and Jorgensen (1975 b). In all the species investigated, particles were very effectively retained down to about 7 µm in diameter (fig. 1). Most of the species, however, were less effective than *Mytilus edulis* which was able to effectively retain particles down to 2 µm in diameter. Particles below 1 µm were retained by all species, but only to a very limited degree.

Various mechanisms have been developed in suspension-feeding bivalves to regulate the efficiency of particle retention and pumping rate




1

**Particle retention efficiency of various bivalves. Maximum efficiency for each species = 100 %. (from Vahl, 1973 b)**

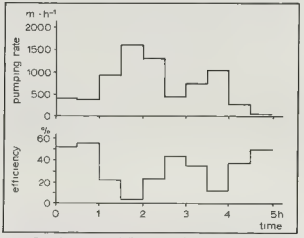
a) *The studies by Hopkins* (1931, 1932 a, b, 1933, 1935, 1936 a, b), Nelson (1938), Theede (1963) and Jorgensen (1975 b) have drawn attention to the importance we must ascribe to the open-ing width of the shells and of the mantle edges in connection with the quantity of water pumped through the animal.

b) *A possibility* for varying the passage of suspended particles is created by widening or narrowing the ostia by muscular action. According to the results represented by Setna (1930) and Dral (1967, 1968), stimulation of the mantle or of the gill nerve causes the immediate shortening of the gill by one third of the original length, whereupon contraction of the adductor muscles takes place. Such a reduction may vary from one part of the gill to another, creating an even more complex situation.

c) The water flow through the gill can be reduced by changing the position of the lamellae (Dral, 1968)

d) The amplitude of the beat of the eu-latero-frontal cirri (Dral 1967, 1968) can be reduced so that the ostium is only partly closed and retention efficiency is drastically decreased.

e) In contrast to Bayne *et al.* (1976 c), who pointed out that the control of particle retention is independent of the water current produced by the lateral cilia, Wilson and Seed (1974 ; see also Dral, 1968) were able o demonstrate by long term recordings an inverse relationship for *Mytilus edulis* between these two parameters. With an increase in pumping activity there was a decrease in retention efficiency, and vice versa (fig. 2).




2

**Pumping rate and filtration efficiency of a single mussel, Mytilus edulis, recorded over 30 minute intervals in 5 mg/l of colloidal graphite. (from Wilson and Seed, 1974)**

f) A further control mechanism, concerning the amount of food ingested, is exerted by the marginal grooves (Atkins, 1937 ; Bernard, 1972), insofar as in various species the fine fraction of particles is channelled within the grooves whereas the coarser fraction is transported along the outer side of the grooves where rejection into the mantle cavity is more likely to occur.

g) Furthermore, the palps regulate the amount of food which enters the digestive tract. Especially at high food concentrations, large quantities of accumulated food are directed by the palps to the rejection tracts of the mantle and discarded as true pseudofaeces.

From this it is obvious that various bivalves, at least *Mytilus edulis*, have the ability for local and independent control of both pumping and particle retention efficiency

### 3. Selection of particles

It has been generally supposed that bivalves have the ability to select particles for ingestion by the activity of the gills and palps. The studies carried out by Bernard (1972, 1974), Winter (1972) and Foster-Smith (1975 b, c) revealed that in the species investigated no selection of particles occurred. Winter (1972) feeding *Mytilus edulis* with suspensions of unicellular algal cells and ferric hydroxide, pointed out that at low concentrations no pseudofaeces were formed and that, consequently, no selection occurred between these two different kinds of suspensions Foster-Smith (1975 b) using a mixed

suspension of *Phaeodactylum tricornutum* and alumina, showed that neither of the particles was selected in preference to the other, at any of the concentrations used. The ingested material always contained the same proportion of particles as the suspension filtered by the gills

#### 4. Production of mucus

Bernard (1972, 1974) differentiated between two distinctly different types of mucus production on the gills, a production which is concerned with food intrapment, so-called "food-collecting mucus", and a production of so-called "rejection mucus". The latter is produced when the gill is stimulated or irritated by environmental factors, such as high loads of suspended particles. Such layers of mucus are rejected as pseudofaeces (in the present paper called "true pseudofaeces"). During water pumping, food-collecting mucus is continuously produced (Bernard, 1972), whether food particles are present or not, and a continuous stream of mucus is moving along the food grooves towards the labial palps Depending on the amount of suspended particles present in the inhalant current, particles settling on the gills are either rejected as true pseudofaeces, or carried in mucus to the palps where the volume of mucus is considerably reduced (Bernard, 1972, 1974). The concentrated "food-mucus mass" is then passed to the mouth. According to Bernard, the particle-concentrating capability of the palps of *Crassostrea gigas* is approximately fourfold. been discussed by Coughlan (1969). The equation is based on the assumptions that (a) the animal's pumping rate is constant and that (b) a constant percentage of particles (which may differ from 100% retention efficiency) is retained throughout the experiment. Since these assumptions are not necessarily true, the equation itself is one of the main disadvantages of the indirect method

The advantages and disadvantages of these two methods have been discussed in detail by Winter (1969), Owen (1974 a), and more recently by Bayne *et al.* (1976 c). In such a discussion, however, one should never forget that the two different methods have been developed to measure two different parameters. In any case, even for the determination of pumping rates, a suspension should be used (compare Foster-Smith, 1975 a) and only, additionally, should pumping rates be determined in water free of particles. Filtration rates and pumping rates should be measured under experimental conditions that reflect the natural specific conditions of the environment, normally and exceptionally experienced by the animal under consideration. In this connection, especially when different results from the literature are compared with each other, the terms "normally experienced" or "exceptionally experienced" should, above all, be taken into consideration.

One of the main disadvantages of the indirect method that should be discussed here, is the continuously changing food concentration in the experimental me-

**Table 1. - Concentration decrease as found in the filtration experiments performed by Rice and Smith (1958, their Fig. 3).** Mercenaria mercenaria **fed with** Nitzschia **sp.**

| Exp N° | Initial concentration ($10^4$ cells/l) | Concentrations ($10^4$ cells/l) after: 10 min | 30 min | 60 min | 90 min |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 4 (100 %) | 0.28 (70 %) | 0 22 (55 %) | 0.16 (40 %) | 0 14 (35 %) |
| 2 | 5 (100 %) | 4 4 (88 %) | 2 8 (56 %) | 0.8 (16 %) | 0.35 ( 8 %) |
| 3 | 75 (100 %) | 58 (77 %) | 24 (32 %) | 6 ( 8 %) | 2.4 ( 3 %) |
| 4 | 170 (100 %) | 75 (44 %) | 42 (25 %) | 32 (19 %) | 16 ( 9 %) |

(from Winter. 1969)

Thus, the palps at least of this species are, predominantly, "mucus reducers". From this follows: (1) up to 75% of the food-collecting mucus are included in the pseudofaecal material, (2) a limited amount of mucus is continuously expelled as pseudofaecal material, even when feeding at low food levels, and (3) much more particles per unit of time are able to enter the stomach, the capacity of which is rather limited

## III. METHODS FOR DETERMINING FILTRATION RATES

The filtration rate of an animal is a parameter of great ecological importance. Having determined the filtration rate and knowing the concentration of suspended particles in the water, it is possible to calculate the amount of food retained by the gills and ingested by the animal, as long as no true pseudofaeces are produced.

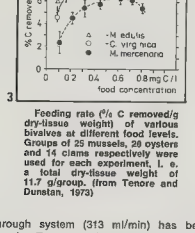
Filtration rate which is defined as the volume of water filtered completely free of particles per unit of time, is frequently confused with pumping or ventilation rate, which represents the volume of water flowing through the gills per unit of time. Filtration rate and pumping rate only have the same numerical value if all particles entering the mantle cavity are completely (100%) retained by the gills. The pumping rate has been determined by so-called "direct methods" which attempt to separate and to measure the exhalant flow, while filtration rates have been determined by so-called "indirect methods", measuring the removal of suspended particles from a known volume of water per unit of time.

The theoretical basis of the equation for the calculation of filtration rates using an indirect method has been discussed by Coughlan (1969). The equation is based on the assumptions that (a) the animal's pumping rate is constant and that (b) a constant percentage of particles (which may differ from 100% retention efficiency) is retained throughout the experiment. Since these assumptions are not necessarily true, the equation itself is one of the main disadvantages of the indirect method

The advantages and disadvantages of these two methods have been discussed in detail by Winter (1969), Owen (1974 a), and more recently by Bayne *et al.* (1976 c). In such a discussion, however, one should never forget that the two different methods have been developed to measure two different parameters. In any case, even for the determination of pumping rates, a suspension should be used (compare Foster-Smith, 1975 a) and only, additionally, should pumping rates be determined in water free of particles. Filtration rates and pumping rates should be measured under experimental conditions that reflect the natural specific conditions of the environment, normally and exceptionally experienced by the animal under consideration. In this connection, especially when different results from the literature are compared with each other, the terms "normally experienced" or "exceptionally experienced" should, above all, be taken into consideration.

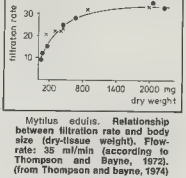
One of the main disadvantages of the indirect method that should be discussed here, is the continuously changing food concentration in the experimental me-

decrease in concentration from $C_1$ to $C_0$ ($C_0$ = the particle concentration immediately around the animal) of about 10%, at least, as long as no magnetic stirrer was additionally used. This drop in concentration, as discussed by these authors (page 116), is "a function of (a) the shape and size of the experimental vessel, (b) the rate of food consumption, (c) the rate of passage of water containing the suspended material, and (d) the degree of mixing".




3 **Feeding rate (% C removed/g dry-tissue weight) of various bivalves at different food levels. Groups of 25 mussels, 20 oysters and 14 clams respectively were used for each experiment, i. e. a total dry-tissue weight of 11.7 g/group. (from Tenore and Dunstan, 1973)**

A flow-through system (313 ml/min) has been used, for example, by Tenore and Dunstan (1973) for determining the particle uptake in relation to food concentration. From their fig. 1 (Fig. 3) it is obvious that the percent removal of food by the mussel, for example, was virtually unchanged from the average of 8.7%/g dry-meat weight. Bearing in mind, however, that a total biomass of 11.7 g dry-meat weight (= 25 mussels) has been used in these experiments, it is obvious that the percent removal of food by the mussels averaged 102%. Thus the particle concentration around the mussels was, at least, very close to zero, and statements like Tenore and Dunstan, 1973, p. 192) "the general response showed adaptation to food concentration typical of natural environments" are not valid when based on such experiments. Furthermore, from fig. 3 (here Fig. 4) represented by Thompson and Bayne (1974), it is rather obvious that the filtration rate (determined according to Thompson and Bayne, 1972) increases with increasing




4 Mytilus edulis. **Relationship between filtration rate and body size (dry-tissue weight). Flow-rate: 35 ml/min (according to Thompson and Bayne, 1972). (from Thompson and bayne, 1974)**

body size, asymptotically approaching the flow rate of 35 ml/min. These filtration rates represent a considerable underestimation, especially with respect to the larger specimens used in these experiments.

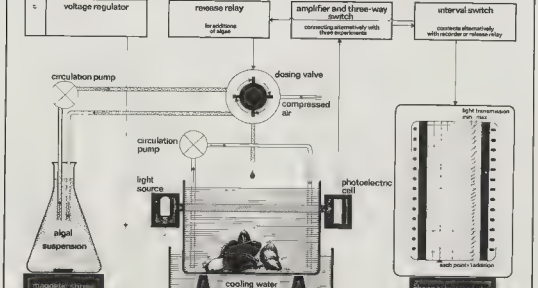
Using a flow-through system, the choice of the right formula for the calculation of filtration rates is of fundamental importance. The theoretical basis for the calculation of filtration rates in such systems has been elucidated by Hildreth and Crisp (1976). Three different formulae are discussed by these authors:

$$F' = A\,\frac{(C_1-C_2)}{C_0}\ (1), \qquad F'' = A\,\frac{(C_1-C_2)}{C_1}\ (2), \qquad F''' = A\,\frac{(C_1-C_2)}{C_2}\ (3).$$

As long as a homogeneous suspension is produced within the experimental chamber by means of a magnetic stirrer, no problems exist: $C_2$ should be equal to $C_0$, consequently, formulae (1) and (3) are identical and the correct ones. When no magnetic stirrer, but only a low flow rate is used in the system, then nothing is safe to say about the food concentrations immediately around the animals. In such a case, it would be the best to determine $C_0$ and then to use formula (1).

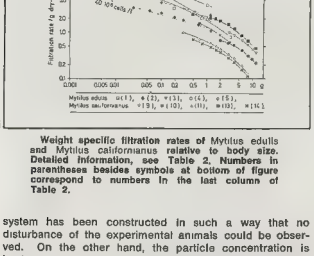
In the filter-feeding experiments carried out by Bayne (1971) with *Mytilus edulis*, the water flowing through

**Schematic diagram of the apparatus used by Winter (1973) for measuring filtration rates. (from Winter, 1973)**



the experimental chamber was additionally stirred by a magnetic stirrer, and consequently formula (3) should have been used (comp. Hildreth and Crisp, 1976) instead of formula (2). Using formula (3), it is obvious that the filtration rate of 1237 ml/h (his table 1, experiment 1), for example, represents an underestimation of 84,6% (re-calculated value: 2283 ml/h). Furthermore, the filter-feeding experiments carried out by Thompson and Bayne (1972), were performed at a flow rate of 35 ml/min and from their table 1 it can be seen that the filtration rate reached values of up to 30.8 ml/min. In this case 88% of the algal cells are removed from suspension.

To avoid at least some of these problems, Winter (1969 1970, 1973) developed a new method (Fig. 5) which combines the advantages of the classical indirect method with those of a flow-through system. On the one hand, Winter ensured a homogeneous suspension by using a recirculating system where about 3 l/min of the experimental medium are recirculated. This recirculating



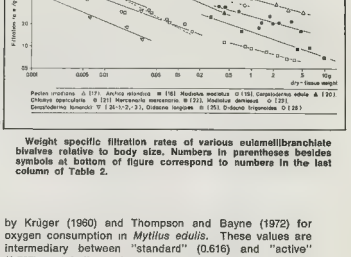

6

**Weight specific filtration rates of** Mytilus edulis **and** Mytilus californianus **relative to body size. Detailed information, see Table 2. Numbers in parentheses besides symbols at bottom of figure correspond to numbers in the last column of Table 2.**

allometric equation $F = aW^b$. All weight specific filtration rates (F/W) in relation to body size so far recorded for *Mytilus edulis* and *Mytilus californianus*, are summarized in Fig. 6. Weight specific filtration rates of 10 further species of lamellibranchiate bivalves are represented in Fig. 7.

The values for *a* and *b* are summarized in Table 2 From this Table it is obvious that many of the *b*-values are between 0.66 and 0.82 indicating a proportionality situated between surface area (0.67) and body weight (1.0). The low *b*-value of 0.39 obtained by Thompson and Bayne (1974) in *Mytilus edulis* clearly demonstrates the considerable underestimation of the filtration activity, especialy of larger individuals. The same seems to be true for more or less all the other *b*-values, insofar as they are far below 0.67.

The *b*-values of 0,73 to 0.74 reported by Winter (1973) for *Mytilus edulis* are in accordance with those obtained




7

**Weight specific filtration rates of various eulamellibranchiate bivalves relative to body size. Numbers in parentheses besides symbols at bottom of figure correspond to numbers in the last column of Table 2.**

system has been constructed in such a way that no disturbance of the experimental animals could be observed. On the other hand, the particle concentration is kept constant at a definite predetermined food level by additions of fresh algal cells to replace those removed by the animals The additions of fresh algal cells are automatically regulated by a photometer, thus ensuring that the particle concentration immediately around the animals is constantly monitored and kept constant within ± 1% a. As fresh algal suspension is added, there is a corresponding outflow of water so that the experimental medium is continuously replaced The flow rate of this part of the system depends on the concentration of the fresh algal suspension and the food consumption of the animals. Thus, the flow rate is partly regulated by the activity of the experimental animals, a principle which is well suited to avoid accumulation of excreted metabolites. This method is characterized by a high flexibility and makes possible reliable tests on the effects of food concentration and water current on filtration activity.

## IV. FILTRATION RATE

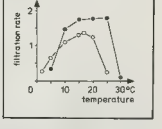
### 1. Filtration rate in relation to body size

During the last 35 years, many data concerning filtration rates of filter-feeding bivalves have been recorded (for literature see Winter, 1969, 1973, 1976; Winter and Langton, 1976). It is well documented in the literature that filtration rate (F) increases with increasing body size (W; dry-tissue weight in g), following the general

by Krüger (1960) and Thompson and Bayne (1972) for oxygen consumption in *Mytilus edulis*. These values are intermediary between "standard" (0.616) and "active" (0.797) metabolism; they seem to represent "routine" metabolism, defined as the "metabolism associated with long-term feeding" (Thompson and Bayne, 1972, p. 1117).

### 2. Filtration rate in relation to temperature

It is well known from the literature that filtration rate is greatly influenced by temperature (for literature see Theede, 1963; Winter, 1969; Dame, 1972; Widdows, 1973;




8

**Influence of different temperatures on filtration rates of** Mytilus edulis **at an algal concentration of 5 x 10⁶** Platymonas suecica **cells/l. Circles: Schulte (1975; 4 cm mussels); squares: Theede (1963; 4.5 cm mussels). (from Schulte, 1975)**

Wilson and Seed, 1974; Schulte, 1975; Bayne *et al.*, 1976 c). Two of the typical curves are shown in Fig. 8 representing data obtained by Theede (1963) and Schulte (1975) for two different populations of *Mytilus edulis*. From these curves it is obvious that filtration rate increa-

Table 2. — Relationship between filtration rate (F) and body size (W) of different suspension-feeding bivalves, characterized by a and b, calculated according to general allometric equation $F = a \cdot W^b$.

| Species | Authors | Suspended particles ($10^6$ cells/l) | Flow rate (ml/min) | Temperature (°C) | W dry-tissue weight (g) | a | b | Ref. nos. of symbols used in Figs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mytilus edulis | Theede (1963) | Graphite | Static system | 15 | 0.058- 3.280 | 1.656 | 0.49 | ( 1) |
| | Winter (1973) | Dunaliella marina | | | | | | |
| | | 10 | 3000 | 12 | 0.100 | ----- | ---- | ( 2) |
| | | 20 | 3000 | 12 | 0.003- 1.186 | 2.410 | 0.74 | ( 2) |
| | | 40 | 3000 | 12 | 0.003- 1.186 | 1.313 | 0.73 | ( 2) |
| | Willemsen (1952) | Silt | Static system | 12-15 | 0.700- 3.100 | 1.273 | 0.38 | ( 3) |
| | Vahl (1973c) | Isochrysis galbana, Monochrysis lutheri | | | | | | |
| | | 2-6 | 150 | 10 | 0.007- 1.000 | 3.900 | 0.60 | ( 4) |
| | Thompson and Bayne (1974) | Tetraselmis suecica | 35 | 15 | 0.050- 1.000 | 1.944 | 0.39 | ( 5) |
| | Jørgensen (1949) | Flagellates and diatoms | Static system | 16-19 | 0.147- 0.195 | ----- | ---- | ( 6) |
| | Jørgensen (1960) | Graphite | Static system | 13-14 | 0.195- 0.305 | ----- | ---- | ( 7) |
| | Jørgensen (1975a, b) | Yeast cells | Static system | 14 | 0.160- 0.170 | ----- | ---- | ( 8) |
| Mytilus californianus (Los Angeles) | Rao (1953) | Graphite | Static system | 20 | 3.000-12.000 | 2.270 | 0.29 | ( 9) |
| | | Graphite | Static system | 16 | 2.000-12.000 | 1.162 | 0.37 | (10) |
| | | Graphite | Static system | 10 | 0.300-12.000 | 0.599 | 0.21 | (11) |
| | | Graphite | Static system | 10 | 0.300- 2.000 | 0.604 | 0.56 | (11) |
| | | Graphite | Static system | 10 | 3.000-12.000 | 1.855 | -0.39 | (11) |
| (Friday Harbor) | Rao (1953) | Graphite | Static system | 16 | 2.000-12.000 | 2.069 | 0.27 | (12) |
| | Segal et al. (1953) | Graphite | Static system | 21 | 0.500-12.000 | 2.138 | 0.48 | (13) |
| | | Graphite | Static system | 21 | 0.500- 2.000 | 2.156 | 0.80 | (13) |
| | | Graphite | Static system | 21 | 3.000-12.000 | 3.962 | 0.13 | (13) |
| | | Graphite | Static system | 8 | 0.500-12.000 | 0.527 | 0.27 | (14) |
| | | Graphite | Static system | 8 | 0.500- 2.000 | 0.511 | 0.53 | (14) |
| | Bayne et al. (1976a) | Algae (various) | | | | | | |
| | | high ration | 60-90 | 15 | 0.300- 5.000 | 1.610 | 0.46 | (15) |
| | | low ration | 60-90 | 15 | 0.300- 5.000 | 1.018 | 0.42 | (16) |
| Pecten irradians | Chipman and Hopkins (1954) | Nitzschia closterium, Chlamydomonas sp. | ? | 24 | 0.660- 4.120 | 4.742 | 0.82 | (17) |
| Arctica islandica | Winter (1969) | Chlamydomonas sp., 20 | 3000 | 12 | 0.280-10.000 | 1.602 | 0.66 | (18) |
| Modiolus modiolus | Winter (1969) | Chlamydomonas sp., 20 | 3000 | 12 | 0.430- 3.950 | 0.929 | 0.74 | (19) |
| Cerastoderma edule | Vahl (1973a) | Isochrysis galbana, Dunaliella euchlora | 35 | 10 | 0.024- 0.430 | 2.000 | 0.58 | (20) |
| Chlamys opercularis | Vahl (1972b) | Isochrysis galbana, Monochrysis lutheri | 160 | 12 | ca. 0.6 | ----- | ---- | (21) |
| Mercenaria mercenaria | Coughlan and Ansell (1964) | Various dyes | Static system | 18-20 | 0.360- 4.810 | 2.595 | 0.73 | (22) |
| Modiolus demissus | Kuenzler (1961 b) | Nitzschia sp. | Static system | 10 | 0.010- 0.810 | 3.444 | 0.76 | (23) |
| Cerastoderma lamarcki | Sanina (1976) | Chlamydomonas sp., Carteria sp., 17.9 | Static system | 18-21 | 0.001- 0.031 | 2.722 | 0.74 | (24-1) |
| | | 200.5 | Static system | 18-21 | 0.002- 0.033 | 0.794 | 0.58 | (24-2) |
| | | 270 | Static system | 18-21 | 0.002- 0.033 | 0.308 | 0.57 | (24-3) |
| Didacna longipes | Sanina (1976) | Chlamydomonas sp., Carteria sp., 60.3 | Static system | 18-21 | 0.002- 0.126 | 0.613 | 0.52 | (25) |
| Didacna trigonoides | Sanina (1976) | Scenedesmus quadricauda, 39.8 | Static system | 18-21 | 0.002- 0.157 | 1.524 | 0.75 | (26) |

Table 3. — Temperature coefficients ($Q_{10}$) for increase in filtration rates (l/h) by lamellibranchs.

| Species and source | l/h | Temperature (°C) | $Q_{10}$ | Temperature range |
|---|---|---|---|---|
| **Arctica islandica** (Winter, 1969) | 2.0<br>4.1 | 4<br>14 | 2.05 | 4° — 14° |
| **Mytilus edulis** (Theede, 1963) | 0.620<br>1.330 | 4<br>14 | 2.15 | 4° — 14° |
| **Hiatella arctica** (Ali, 1970) | 0.0055<br>0.0341 | 5<br>15 | 6.2 | 5° — 15° |
| **M. edulis** (Schulte, 1975) | 0.353<br>1.751 | 5<br>15 | 4.96 | 5° — 15° |
| **M. edulis** (Theede, 1963) | 1.100<br>1.240 | 10<br>20 | 1.13 | 10° — 20° |
| **A. islandica** (Winter, 1969) | 3.60<br>4.30 | 10<br>20 | 1.23 | 10° — 20° |
| **H. arctica** (Ali, 1970) | 0.0165<br>0 0121 | 10<br>20 | 0.75 | 10° — 20° |
| **M. edulis** (Schulte, 1975) | 1.468<br>1.796 | 10<br>20 | 1.22 | 10° — 20° |
| **M. edulis** (Schulte, 1975) | 1.751<br>1.798 | 15<br>25 | 1.001 | 15° — 25° |
| **M. edulis** (Schulte, 1975) | 1.796<br>0 106 | 20<br>30 | 0 089 | 20° — 30° |

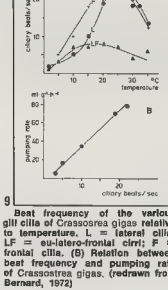
(from Schulte, 1975)

ses with increasing temperatures up to an optimum temperature. With any further increase in temperature above this optimum, filtration rate decreases drastically. Almost the same temperature-related pattern (Fig. 9 A) is reflected by the beat frequency of the various types of gill cilia, and it is not surprising that there exists a linear relationship (Fig. 9 B) between the lateral ciliary beat frequency and the rate of water transport (Bernard, 1972)

Various temperature coefficients, $Q_{10}$, concerning the relationship between filtration rate and temperature are summarized in Table 3. From this Table it is clear that there is a great deal of variation depending on the species and the temperature range under consideration. In general, the values for $Q_{10}$ are much higer at a lower temperature range indicating a more rapid increase in filtration activity at low temperatures

### 3. Filtration rate in relation to food concentration

Filter-feeding activity is a function of cell concentration which has been well documented by several authors for different species of lamellibranchiate bivalves (Loosanoff and Engle, 1942, 1947; Loosanoff, 1962; Flügel and Schlieper, 1962; Schlieper, 1953; Dral, 1967, 1968; Winter, 1969, 1973, 1976; Waine, 1972, his fig. 2; Wilson and Seed, 1974; Schulte, 1975; Sanina, 1976). In general, the filtration




g

**Beat frequency of the various gill cilia of** Crassostrea gigas **relative to temperature. L = lateral cilia; LF = eu-latero-frontal cirri; F = frontal cilia. (B) Relation between beat frequency and pumping rate of** Crassostrea gigas. **(redrawn from Bernard, 1972)**

Table 4. — Mytilus edulis. **Filtration rate and algae filtered-out relative to body size and algal concentration** (Dunaliella marina), **at 12° C. Values are means of several experiments conducted over 120 h at concentrations of 20 x $10^6$ and 40 x $10^6$ cells/l, and over 168 h at concentrations of 10 x $10^6$ cells/l.**

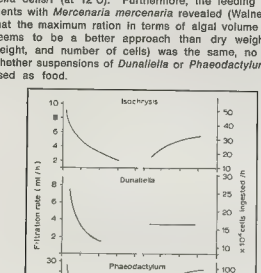
| Shell length (mm) | Number of experiments | Dry weight of tissues (mg) | Algal concentration ($10^6$ cells/l) | Filtration rate/ mussel (ml/h) | Filtration rate/ mg dry-tissue weight (ml/h) | Amount of algae (dry weight) filtered per mussel (mg/day) | Amount of algae filtered per day relative to dry-tissue weight (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8.5 | 3 | 3 | 20 | 34 | 11.3 | 0.87 | 29.0 |
| 8.5 | 3 | 3 | 40 | 17 | 5.7 | 0.87 | 29.0 |
| 16.5 | 3 | 24 | 40 | 81 | 3.3 | 4.15 | 17.1 |
| 21.5 | 2 | 55 | 40 | 165 | 3.0 | 8.45 | 15.4 |
| 26.5 | 2 | 100 | 10 | 1087 | 10.9 | 13.93 | 13.9 |
| 26.5 | 3 | 100 | 20 | 434 | 4.3 | 11.11 | 11.1 |
| 26.5 | 3 | 100 | 40 | 273 | 2.7 | 13.98 | 14.0 |
| 33.0 | 1 | 195 | 40 | 427 | 2.2 | 21.87 | 11.2 |
| 36.5 | 3 | 301 | 40 | 556 | 1.8 | 28.48 | 9.5 |
| 46.5 | 4 | 649 | 40 | 948 | 1.5 | 48.56 | 7.5 |
| 56.5 | 3 | 1186 | 20 | 2767 | 2.3 | 70.86 | 6.0 |
| 56.5 | 3 | 1186 | 40 | 1284 | 1.1 | 65.76 | 5.5 |

(from Winter, 1973)

rate decreases with increasing cell concentrations. This indicates that bivalves regulate the amount of water filtered clear of particles in relation to food concentration. Bearing in mind the different mechanisms, described in chapter II.2., such a regulating ability is not surprising and has to be considered as the main function of these mechanisms.

Winter (1973) showed that *Mytilus edulis* regulates the filtration rate (Table 4), within the range from $10 \times 10^6$ to $40 \times 10^6$ *Dunaliella marina* cells/l, in such a way that the amount of algae filtered-out is more or less constant (as an average over a period of 5 days). The same holds true for *Modiolus modiolus* within the range from $20 \times 10^6$ to $40 \times 10^6$ *Chlamydomonas* sp. cells/l at 20°C; at $10 \times 10^6$ cells/l, however, the amount of food ingested is only counterbalanced by a higher filtration activity to a certain degree (Winter, 1969).

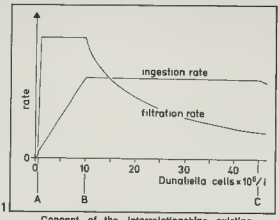
Comparable results have been obtained by Walne (1972, his fig. 2), feeding *Mercenaria mercenaria* at various concentrations of *Isochrysis galbana*, *Dunaliella tertiolecta* and *Phaedactylum tricornutum*. Within a certain range of cell concentration (Fig. 10), the amount of food ingested levels off, i. e., the filtration rate is reduced in such a way that the optimum ration of algae is ingested. His experiments with *Dunaliella* revealed that the lowest food density tested, $17 \times 10^6$ *Dunaliella* cells/l, was sufficient for the animals to obtain their maximum ration. In the case of *Mytilus edulis* (Winter, 1973) this maximum ration was already reached at $10 \times 10^6$ *Dunaliella* cells/l (at 12°C). Furthermore, the feeding experiments with *Mercenaria mercenaria* revealed (Walne, 1972) that the maximum ration in terms of algal volume (which seems to be a better approach than dry weight, wet weight, and number of cells) was the same, no matter whether suspensions of *Dunaliella* or *Phaedactylum* were used as food.




**Filtration and ingestion rate of small Mercenaria mercenaria (shell lenght: 4.5 mm) fed various concentrations of Isochrysis galbana, Dunaliella tertiolecta and Phaeodactylum tricornutum. (redrawn from Walne, 1972)**

More recently, Sanina (1976) investigated the relationships between filtration rate and food concentration in *Cerastoderma lamercki*, *Didacna longipes*, *Didacna trigonoides*, *Hypanis angustricostata* and *Mytilaster lineatus* Depending on the range of food concentration used in the different experiments, Sanina demonstrated, in accordance with the result found by Winter (1973), a very similar filter-feeding behaviour for all the species investigated.

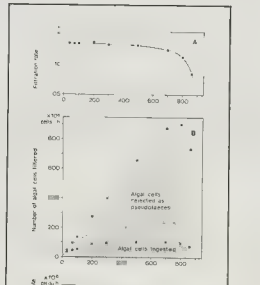
A very schematic representation of the relationships between food concentration and filtration rate is given by Fig. 11. From a low threshold concentration (A) onwards, filtration rate increases rapidly and is then kept constant up to a food concentration (B) at which a maximum amount of food is ingested. As soon as this maximum ingestion rate is reached, the filtration




**Concept of the interrelationships existing between filtration rate, ingestion rate, and food concentration (12° C). Further explanations see text.**

rate decreases continuously in such a way that the amount of food ingested is kept constant (comp. Fig. 10, comp. also Lehman, 1976, his fig. 3, dashed lines; Lam and Frost, 1976, their fig. 9). This pattern remains unchanged until the food concentration (C) is reached at which the production of true pseudofaeces begins. At still higher food concentrations (higher than "C") however, filtration and ingestion rate are drastically reduced (see Winter, 1969, 1970, 1976).

More or less the same filter-feeding behaviour in relation to food concentration was found by Foster-Smith (1975 a) for *Cerastoderma edule* and *Venerupis pullastra*.




**Filtration rate (A), number of algal cells filtered (B), and number of algal cells ingested (C) in relation to food concentration (Peaodactylum tricornutum). Squares: Mytilus edulis; triangles: Venerupis pullastra; circles: Cerastoderma edule. Dashed line in (B) is based on own experiments with Mytilus edulis and represents the number of Phaeodactylum cells filtered. (redrawn and modified from Foster-Smith, 1975 a).**

In *Mytilus edulis*, however, Foster-Smith was not able to demonstrate the regulation of filtration rate with increasing food concentrations. In his experiment, as can be seen from Fig. 12, the filtration rate remains constant over a very wide range of food concentration. According to this author, the amount of food ingested is only regulated in this species by an increasing production of true pseudofaeces with increasing food concentration so that the amount of food ingested is kept constant.

Such regulation is in contrast with all the other results and probably does not represent a real situation. The energy consumed by filtration activity and by the production of pseudofaeces, and the high loss of organic substance in form of mucus (necessary for the production of pseudofaeces) cannot be compensated for by a food intake that is only 10% of the total amount of food filtered. Furthermore, as pointed out by Foster-Smith (1975 c), there exists no clear difference in the function of the pallial organs of these 3 species to account for such different responses in terms of filtration rate and pseudofaecal production. Such an unusual behaviour may be explained by long periods of starvation of the experimental animals before starting the experiment (in this case, at least 25 h) and by experiments carried out over periods of time not longer than 3 hours.

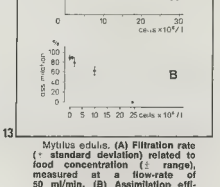
We have repeated these feeding experiments (Fig. 12/B) under the same experimental conditions (at least, as far as possible) and found that the amount of food filtered levels off at a food concentration of $300 \times 10^6$ *Phaedactylum tricornutum* cells/l (= 4.3 mg algal dry weight/l). If specimens of *Mytilus edulis* are kept at the high food concentrations used by Foster-Smith (according to our dry-weight determinations: $800 \times 10^6$ *Phaeodactylum* cells have a dry-weight of 11.4 mg) for longer periods of time, they close their shells and their stomach is empty as has been described already by Loosanoff and Engle (1947) for *Crassostrea virginica*, 30 years ago.

There cannot be any question that it must be important for filter-feeders when feeding in high concentrations of suspension, to maintain an optimum rate of ingestion. The conclusion by Foster-Smith (1975 a), however, that *Mytilus edulis* seems to be a more efficient feeder at high concentrations than *Cerastoderma edule* and *Venerupis pullastra* is difficult to understand on the basis of his results. As shown in his fig. 11 (here Fig. 12/C), the amounts of food ingested under such conditions are much higher in *Cerastoderma edule* and *Venerupis pullastra* than in even larger individuals of *Mytilus edulis*.

The experiments carried out by All (1970) with *Hiatella arctica* showed that the filtration rate remained constant at cell concentrations ranging from $1000 \times 10^6$ to $3500 \times 10^6$ *Phaeodactylum tricornutum* cells/l (according to our dry-weight determinations: 14.2 - 49.8 mg/l) At higher concentrations of these relatively large algal cells (4 µm × 40 µm), the filtration rate decreased rapidly, approaching zero at a concentration of about $11{,}000 \times 10^6$ *Phaeodactylum* cells/l (1566 mg algal dry weight/l). Bearing in mind that according to Cole and Knight-Jones (1949) natural concentrations of unicellular algal cells in sea water range from $5 \times 10^6$ to $70 \times 10^6$ cells/l, the algal concentrations used by All are absolutely astronomical. The very low filtration rates, the obviously considerable number of inactive animals, as mentioned by All, and the very thick food suspensions lead to the conclusion that the inactive animals were those which showed the typical behaviour in relation to food concentration.

Davids (1964) has also chosen for his experiments algal cell concentrations that were far too high. Apart from the relatively low *Phaeodactylum* concentration of $43 \times 10^6$ cells/l, he used concentrations between $200 \times 10^6$ and $3100 \times 10^6$ cells/l. It is not surprising that Davids conceded that his conclusions on the influence of particle concentration upon pumping rate of *Mytilus edulis* were speculative.

The determinations of filtration rate in relation to different food concentrations carried out by Thompson and Bayne (1974) using *Mytilus edulis* are very difficult to interpret. Keeping in mind that at a filtration rate of about 30 ml/min and a flow rate of about 50 ml/min. 60% of the food particles entering the system are filtered-out, no exact values are known about the food concentration immediately around the experimental animals ($C_0$). It is quite clear, however, that the particle concentration in their experimental set-up is much lower



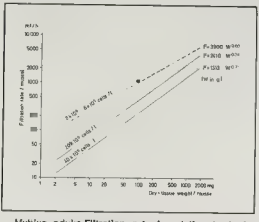

Mytilus edulis. **(A) Filtration rate (± standard deviation) related to food concentration (± range), measured at a flow-rate of 50 ml/min. (B) Assimilation efficiency in relation to food concentration** (Tetraselmis suecica). **(from Thompson and Bayne, 1974)**

than the quoted inflow concentration values of up to $30 \times 10^6$ cells/l (Fig. 13/A). In this case a quoted inflow concentration of $23 \times 10^6$ cells/l ($C_0$) probably corresponds to a $C_0$-concentration of about $10 \times 10^6$ cells/l (under the assumption of a homogeneous suspension) If this is true, the observed constant filtration rate (Fig 13/A) in relation to food concentration is not surprising (comp. Fig. 11). However, it is surprising that the filtration rate should be kept constant at a high level while the assimilation efficiency decreases with increasing food concentration down to zero (Fig. 13/B). From the ecological point of view such a behaviour is quite uneconomic and makes dubious the significance of the various mechanisms that have been described in chapter II.2.

From this discussion it is also obvious that the concept developed by Jorgensen (1975 a) with respect to the relationship between food concentration and filtration rate is very questionable because his concept is mainly based on the results obtained by Davids (1964), Ali (1970), Walne (1972); filtration rate in relation to flow rate), and Tenore and Dunstan (1973). Moreover, in Jorgensen's graph fig. 1, the results obtained by Vahl (1973 c) for *Mytilus edulis* are represented in an incorrect manner which might be important in this context.

It has already been discussed that filtration rate is an increasing function with body size. In connection with food concentration, however, it should be pointed out that small as well as large individuals of a species, at least for *Mytilus edulis*, react in the same manner to different algal concentrations. Thus, the *b*-values are constant whereas the *a*-values are related to food concentration. The smaller exponent of 0.60 (Fig. 14) found by Vahl (1973 c) at very low food concentrations may be interpreted as describing the typical relationship between body size and food concentration at very low food concentrations, but it should really be investigated further.

The regulation of the filtration rate is not only influenced by cell concentration, expressed as the number of algal cells suspended/l, but is also a function of algal size The manner in which algal size and algal concentration together influence the filter-feeding activity (Table 5) is indicated by the "pseudofaeces-free cell density", being defined as the concentration which is just below the




14

Mytilus edulis. **Filtration rate in relation to body size and food concentration. Broken line represents filtration rates determined by Vahl (1973 c) at 10° C and food concentrations within the range of 2 x 10⁶ to 6 x 10⁶ algal cells/l, feeding a 1 : 1 mixture of Isochrysis galbana and Monochrysis lutheri. Solid lines represent filtration rates determined by Winter (1973) at 12° C and constant concentrations of 20 x 10⁶ and 40 x 10⁶ Dunaliella marina cells/l. The square represents the filtration rate determined by Winter (1973) at the constant concentration of 10 x 10⁶ Dunaliella cells/l (12° C)**

**4. Filtration rate in relation to tidal rhythmicity**

Fluctuations in filtration rate (comp. Winter, 1973) may be considerable but not related to the tidal cycle nor to any other environmental variable (see also Jorgensen, 1960; Theede, 1963; Davids, 1964; Widdows and Bayne, 1971). Wilson and Seed (1974) pointed out, which is in agreement with my own observations (unpublished data), that there was no evidence for any intrinsic tidal rhythm in feeding. Thompson and Bayne (1972) recorded continuous feeding by *Mytilus edulis* whenever food cells above a certain threshold (food concentration above "A", comp. Fig. 11) were presented It should be stressed, however, that investigations on feeding rhythmicity represent considerable difficulties, because all abiotic factors, especially food concentration, have to be kept constant over extremely long periods of time. Thus all the results obtained so far, are not very reliable, unless an experimental set-up similar to that described by Winter (1973) has been used.

It is clear, however, that a rhythmic pattern of feeding is imposed on intertidal bivalves (Langton, 1972) well correlated with external rhythms, but this is not to be discussed here.

## V. OXYGEN CONSUMPTION

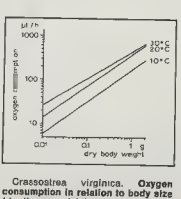
Oxygen consumption is a good measure of metabolic activity related to various biotic and abiotic parameters, including the physiological condition of the animal under consideration

The rate of oxygen uptake (Fig. 15) increases with increasing body size, a function that may also be described by the general allometric equation. In general, however, the *b*-values obtained for oxygen uptake (Tabel

**Table 5. — Effect of algal concentration and algal size on the filtration mechanism. The data on food concentration should be regarded as indicating continuous loads. The experimental temperature was around 20° C. (Modified from Winter, 1969).**

| Authors | Species | Food | Size µm | Pseudofaecesfree cell density x 10⁶ cells/l |
|---|---|---|---|---|
| Loosanoff and Engle (1947) | **Crassostrea virginica** | **Chlorella sp.** | 5 | 450 |
| Dean (1957) | **Crassostrea virginica** | **Chlorella sp.** | 5 | 450 |
| Winter (1969) | **Modiolus modiolus** | **Dunaliella sp.** | 7.5 x 5 | 60 |
| Winter (1969) | **Arctica islandica** | **Dunaliella sp.** | 7.5 x 5 | 60 |
| Schulte (1975) | **Mytilus edulis** | **Platymonas suecica** | 7.2 x 9.4 | 35 — 40 |
| Winter (1969) | **Modiolus modiolus** | **Chlamydomonas sp.** | 10 x 7.5 | 50 |
| Winter (1969) | **Arctica islandica** | **Chlamydomonas sp.** | 10 x 7.5 | 50 |
| Stickney (1964) | **Mya arenaria** | **Dicrateria sp.** | ? | 50 |
| Davids (1964) | **Mytilus edulis** | **Phaeodactylum tricornutum** | 3.2 — 4.2 x 19.2 — 27.2 | 30 — 40 |
| Loosanoff and Engle (1947) | **Crassostrea virginica** | **Nitzschia closterium** | ? (40 — 50) | 20 — 30 |
| Loosanoff and Engle (1947) | **Crassostrea virginica** | **Euglena viridis** | 60 | 2 |

threshold of pseudofaeces production (Loosanoff and Engle, 1947; Winter, 1969, Schulte, 1975). From Table 5 it is obvious that the concentration level under consideration increases with a decrease in particle size. To determine this cell concentration short-term experiments (comp. Foster-Smith, 1975 a) should be avoided because bivalves react in an entirely atypical manner during short-term loading, especially, when periods of starvation preceeded the experiment. The pseudofaeces-free cell density seems to be very close or equal to the optimum food concentration, since filtration activity is reduced to low-energy-consuming filtration rates and all algal cells filtered-out are ingested. A still better approach, however, with respect to these relationships, is to express cell concentration in terms of cell volume as has been well demonstrated by Walne (1972).




15

Crassostrea virginica. **Oxygen consumption in relation to body size (dry-tissue weight) and temperature. (from Dame, 1972)**

6) are higher than those recorded for filtration activity. These differences may be explained, at least partly, by the following methodological considerations. In the experiments carried out by Thompson and Bayne (1972), for example, only about 4% of the oxygen dissolved in the inflowing water is utilized at a flow rate of 35 ml/min. On the one hand, such a decrease in oxygen content is just enough for accurate measurements, on the other hand, the "dilution effect" — as described already for the food concentration in many feeding experiments — is (in a through flow system) hardly possible. From this

## VI. INGESTION RATE

The amount of food ingested (per unit of time) is a function of body size, temperature, and food concentration. As long as no true pseudofaeces are produced, the amount of food ingested is equal to the amount of food filtered. A concept of the interrelationship between body size, food concentration, and the amount of food ingested is represented in Fig. 16. The concept is based on data obtained by Winter (1973), feeding *Mytilus edulis* of different body sizes at various constant

**Table 6. — Some relationships between the rate of oxygen consumption and body weight in mussels**

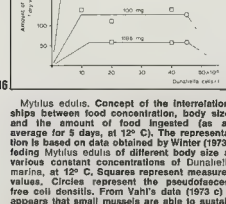
| Species | Range of dry flesh weights (g) | Temp. (°C) | No. of observations (n) | a | b | b' | Authority and comments |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Modiolus demissus* | 0.25–2.60 | 22 | 12 | 0 629 | 0 798 | −0 202 | Read (1962) H |
| *Modiolus demissus* | 0.40–1 30 | 14 | 4 | 0 260 | 0 690 | −0 310 | Kneznler (-961a) |
| *Mytilus edulis* | 0.11–1.68 | 16 | 24 | 0 698 | 0.660 | −0.340 | Rothhauwe (1958); 16‰ salinity |
| *Mytilus edulis* | 0.01–1 75 | 15 | 14 | 0.525 | 0 930 | −0.070 | Krüger (1960); Mar 1959 |
| *Mytilus edulis* | 0 01–1.75 | 15 | 14 | 0.320 | 0.700 | −0.300 | Krüger (1960); Aug. 1959 |
| *Mytilus edulis* | 0.20–4.00 | 12 | 25 | 0 559 | 0.595 | −0.405 | Read (1962a) |
| *Mytilus edulis* | 0.07–3.00 | 15 | 44 | 0 263 | 0.724 | −0.276 | Bayne *et al* (1973); Winter, standard |
| *Mytilus edulis* | 0.07–3.00 | 15 | 41 | 0 549 | 0.774 | −0 226 | Bayne *et al* (1973), Winter, routine |
| *Mytilus edulis* | 0.07–3 00 | 15 | 42 | 0.164 | 0.670 | −0.330 | Bayne *et al.* (1973), Summer, standard |
| *Mytilus edulis* | 0.07–3.00 | 15 | 68 | 0 339 | 0.702 | −0 298 | Bayne *et al.* (1973, Summer, routine |
| *Mytilus edulis* | 0.007–1.02 | 10 | 20 | 0.370 | 0.750 | −0 250 | Vahl (1973 c); 22‰ salinity |
| *Perna perna* | 0.06–3.46 | 20 | 18 | 0 342 | 0 625 | −0.375 | Bayne (1967) |
| *Mytilus californianus* | 5.00–52 00 | 17–21 | 17 | 0 623 | 0 837 | −0 163 | Whedon & Sommer (1937) |
| *Mytilus californianus* | 0 35–5 01 | 13 | 22 | 0 542 | 0 648 | 0 352 | Bayne *et al.* (1976 a); routine |
| *Mytilus californianus* | 0.35–5 01 | 13 | 19 | 0 233 | 0.648 | −0.352 | Bayne *et al.* (1976 a); standard |

*a* and *b* are fitted parameters in the allometric equation $Y = a\ X^b$; *b'* is *b*−1.
Units are ml $O_2$ $h^{-1}$ (*Y*) and g dry flesh weight (*X*)

(from Bayne **et al.**, 1976 c)

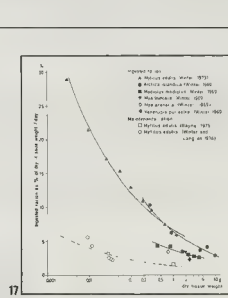
it becomes clear why, in general, the *b*-values are high (= correct) for oxygen uptake, but too low for filtration rates, but compare also Bayne *et al.* (1976 e, p. 274).

Furthermore, oxygen consumption increases with increasing temperature up to an optimum temperature, generally reflecting the situation which has been already described for filter-feeding activity. Oxygen consumption in relation to body size and temperature is represented in Fig. 15. Further details on oxygen consumption in bivalve molluscs are summarized in a comprehensive review by Bayne *et al.* (1976 c).




16

Mytilus edulis. **Concept of the interrelationships between food concentration, body size, and the amount of food ingested (as an average for 5 days, at 12° C). The representation is based on data obtained by Winter (1973), feding** Mytilus edulis **of different body size at various constant concentrations of** Dunaliella marina, **at 12° C. Squares represent measured values. Circles represent the pseudofaeces-free cell densitis. From Vahl's data (1973 c) it appears that small mussels are able to sustain very high filtration rates at very low food concentrations.**

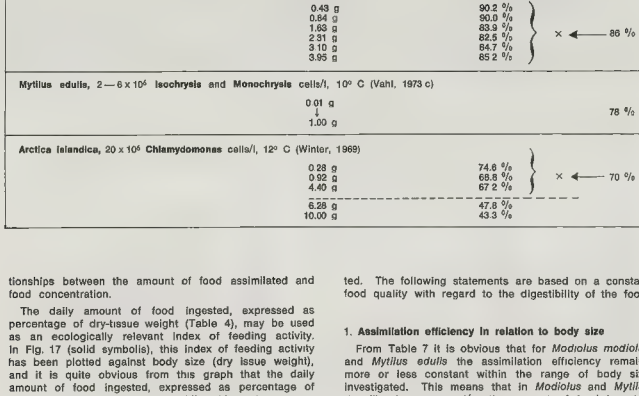



17

**Relationship between ingested ration (expressed as percentage of dry-tissue weight/day) and body size (dry-tissue weight). Experiments wer carried out at 12° C and various food concentrations, over periods of up to 5 days. Values for** Mytilus edulis **obtained by Winter (1973) are misinterpreted by Bayne et al. (1976 c, their fig. 5.6). — Maintenance ration, expressed as percentage of dry-tissue weight per day, in relation to body size (dry-tissue weight) is represented by the dashed line. The data are based on a feeding period of one month (see Winter and Langton, 1976).**

concentrations of *Dunaliella marina* at 12° C. The influence of temperature on the amount of food ingested can be seen from Table 9 and shows more or less the same pattern as represented in Fig. 18, concerning the rela-

**Table 7. — Assimilation efficiency in relation to body size.**




tionships between the amount of food assimilated and food concentration.

The daily amount of food ingested, expressed as percentage of dry-tissue weight (Table 4), may be used as an ecologically relevant index of feeding activity. In Fig. 17 (solid symbols), this index of feeding activity has been plotted against body size (dry tissue weight), and it is quite obvious from this graph that the daily amount of food ingested, expressed as percentage of body weight, increases very rapidly with a decrease in body size. This means that the relative amount of food ingested is much higher in smaller than in larger individuals. Again, this relation follows the general allometric equation (see Table 12).

## VII. ASSIMILATION EFFICIENCY

The amount of food assimilated expressed as percentage of the amount of food ingested, is defined as assimilation efficiency. Assimilation efficiency depends, above all, on the quality and quantity of the food ingested. The following statements are based on a constant food quality with regard to the digestibility of the food

### 1. Assimilation efficiency in relation to body size

From Table 7 it is obvious that for *Modiolus modiolus* and *Mytilus edulis* the assimilation efficiency remains more or less constant within the range of body size investigated. This means that in *Modiolus* and *Mytilus* the filtration rate and/or the amount of food ingested are regulated in such a way that the assimilation efficiency is independent of body size. The same holds true for *Arctica islandica* up to a body size of at least 4.4 g dry-tissue weight; the average assimilation efficiency up to this size is about 70 %. Larger individuals show a considerably reduced assimilation efficiency averaging about 46%. Also for *Modiolus modiolus* a slight effect of body size on assimilation efficiency seems to exist, but it should really be investigated further. A more comprehensive summary of data on assi-

**Table 8. — Assimilation efficiency in different suspension-feeding bivalves, at various food concentrations of unicellular algal cultures and temperatures. (Amount of food ingested = 100 %; * amount of food filtered = 100 %; ** shell length in mm)**

| Species | Author | Dry-tissue weight (g) | Food | Algal concentration ($10^6$ cells/l) | Temperature (°C) | Method | Assimilation efficiency (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modiolus modiolus | Winter (1969) | 0.43 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 90.2 |
| | | 2.31 | Chlamydomonas sp. | 10 | 20 | Biuret | 90.4 |
| | | 2.31 | Chlamydomonas sp. | 20 | 20 | Biuret | 92.9 |
| | | 2.31 | Chlamydomonas sp. | 40 | 20 | Biuret | 94.2 |
| | | 2.31 | Thalassiosira sp. | 20 | 12 | Biuret | 82.5 |
| | | 2.31 | Dunaliella marina | 20 | 12 | Biuret | 86.3 |
| | | 2.31 | Chaetoceros sp. | 20 | 4 | Biuret | 77.5 |
| | | 3.95 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 83.2 |
| Arctica islandica | Winter (1969) | 0.28 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 74.6 |
| | | 4.40 | Chlamydomonas sp. | 20 | 20 | Biuret | 83.6 |
| | | 4.40 | Chlamydomonas sp. | 10 | 12 | Biuret | 88.1 |
| | | 4.40 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 67.2 |
| | | 4.40 | Chlamydomonas sp. | 40 | 12 | Biuret | 85.0 (61.9*) |
| | | 4.40 | Dunaliella marina | 20 | 12 | Biuret | 63.5 |
| | | 4.40 | Chaetoceros sp. | 20 | 4 | Biuret | 87.5 |
| | | 6.28 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 47.8 |
| | | 10.00 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 43.5 |
| Mya truncata | Winter (1969) | 2.02 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 72.9 |
| Cerastoderma edule | Winter (1969) | 0.93 | Chlamydomonas sp. | 20 | 12 | Biuret | 83.2 |
| Mya arenaria | Winter (1969) | 0.74 | Chlamydomonas sp. | 40 | 12 | Biuret | 82.0 |
| | Allen (1962) | 76** | Phaeodactylum sp. | 30-60 | 17-18 | $^{32}P$ | 80.0* |
| Venerupis pullastra | Winter (1969) | 2.99 | Dunaliella marina | 20 | 12 | Biuret | 42.8 |
| Venus striatula | Allen (1962) | 21** | Phaeodactylum sp. | 30-60 | 17-18 | $^{32}P$ | 90.0* |
| Dreissena polymorpha | Mikuszyc and Sarvala (1966) | 8-28** | Chlorella sp. | ? | ? | $^{14}C$ | 30.0* |
| | | 8-28** | Nature (various) | ? | ? | $^{14}C$ | 49.0* |
| Mytilus edulis | Vahl (1973c) | 0.007-1.00 | Isochrysis galbana, Monochrysis lutheri | 2-6 | 10 | Conover's ratio (1966) | 78.2 |
| | Winter (1969) | 0.68 | Dunaliella marina | 20 | 12 | Biuret | 71.8 |
| | Widdows and Bayne (1971) | ? | Cryptomonas ovata | 1.2 | 5-25 | Conover's ratio | 84 ± 4 |
| | Tenore and Dunstan (1973a) | 0.47 | Phytoplankton | 5.5 | 5-15 | Carbon | 69 ± 5 |
| | | | | ? | 19-21 | Carbon | 73.4 |
| Mercenaria mercenaria | Tenore and Dunstan (1973a) | 0.84 | Phytoplankton | ? | 19-21 | Carbon | 74.7 |
| Crassostrea virginica | Tenore and Dunstan (1973a) | 0.59 | Phytoplankton | ? | 19-21 | Carbon | 83.7 |

milation efficiency is given in Table 8. Compare also *b*-values in Table 12.

**2. Assimilation efficiency in relation to temperature**

Assimilation efficiencies for *Modiolus modiolus* and *Arctica islandica* are shown in Table 9. In general, from this Table it is clear that there is no increase in assimilation efficiency within the temperature range from 4° C to 12° C. Thus, the filtration rate and/or the amount of food ingested are regulated in such a way that assimilation efficiency is not only independent of body size, but also independent of temperature. However, at the high temperature of 20° C, which is not experienced by these species in their natural environment (Germain Bight), the assimilation efficiency is significantly higher than at the lower temperatures. Calculated temperature coefficients, $Q_{10}$, for the amount of food assimilated in relation to temperature are summarized in Table 10. These $Q_{10}$-values are comparable to those in Table 3.

Winter (1969) carried out filter-feeding experiments with *Modiolus modiolus* at different food concentrations. At 20° C equal amounts of food were filtered-out at $20 \times 10^6$ and $40 \times 10^6$ *Chlamydomonas* cells/l, while the food concentration of $10 \times 10^6$ cells/l was not high enough (at 20° C !) for the animals to filter-out a corresponding high amount. The assimilation efficiencies at these three different food concentrations were more or less constant and very high, i. e. above 90%. An even higher assimilation efficiency (for example, of the smaller amount of food ingested at $10 \times 10^6$ cells/l) is unlikely to occur; a certain amount of algal cells is always included in the faeces. Thus, even in these experiments the assimilation efficiency was independent of food concentration.

**Table 9. — Assimilation efficiency in relation to the amount of food ingested and temperature (data from Winter, 1969)**

| Species | Temperature (°C) | Amount of food ingested (mg/day) | Assimilation efficiency (%) |
|---|---|---|---|
| **Modiolus modiolus** (2.31 g dry-tissue weight) | 4 | 33.6 | 77.5 |
| | 12 | 70.4 | 82.5 |
| | 20 | 101.5 | 92.9 |
| **Arctica islandica** (4.40 g dry-tissue weight) | 4 | 80.4 | 67.3 |
| | 12 | 161.3 | 67.2 |
| | 20 | 172.7 | 83.6 |

**Table 10. — Relationship between the amount of food assimilated and temperature, expressed by $Q_{10}$ — values. (from Winter, 1969)**

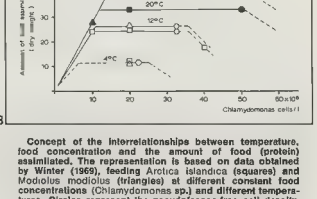
| | | | |
|---|---|---|---|
| **Arctica islandica** (4.40 g dry-tissue weight) | | | |
| Amount of food assimilated (mg/24 h) | 4° C | 14° C | $Q_{10}$ ( 4° — 14° C) |
| | 54 | 116 | 2.15 |
| Amount of food assimilated (mg/24 h) | 10° C | 20° C | $Q_{10}$ (10° — 20° C) |
| | 93 | 144 | 1.55 |
| **Modiolus modiolus** (2.31 g dry-tissue weight) | | | |
| Amount of food assimilated (mg/24 h) | 4° C | 14° C | $Q_{10}$ ( 4° — 14° C) |
| | 26 | 66 | 2.54 |
| Amount of food assimilated (mg/24 h) | 10° C | 20° C | $Q_{10}$ (10° — 20° C) |
| | 49 | 94 | 1.92 |

**3. Assimilation efficiency in relation to food concentration**

There is a considerable degree of confusion when considering assimilation efficiency in relation to food concentration. There should not be any question that assimilation efficiency is primarily correlated with the amount of food ingested. When, however, the filtration rate and ingestion rate are related to food concentration in such a manner that at different food concentrations (within the range from "B" to "C", comp. Fig. 11) constant amounts of food are ingested, then it is not surprising that these equal amounts of food are assimilated with the same efficiency. And when this situation is found, for example in the experiments carried out by Winter (1973) with *Mytilus edulis*, then assimilation efficiency is independent of food concentration.

Several authors (Widdows and Bayne, 1971; Thompson and Bayne, 1972; Foster-Smith, 1975 b; Bayne *et al.* 1976 c) ignored this complex of relations, existing between food concentration, filtration rate and assimilation efficiency, and made incomplete statements with regard to the results found by Winter (1969).

Moreover, from Fig. 18 it may be seen that with an increase in temperature there is a shift towards higher food concentrations at which maximum amounts of food




18

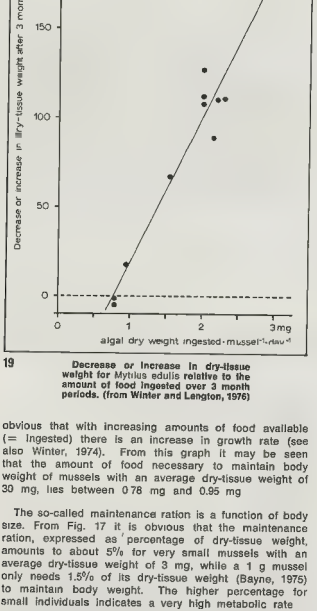
**Concept of the interrelationships between temperature, food concentration and the amount of food (protein) assimilated. The representation is based on data obtained by Winter (1969), feeding** Arctica islandica **(squares) and** Modiolus modiolus **(triangles) at different constant food concentrations (Chlamydomonas sp.) and different temperatures. Circles represent the pseudofaeces-free cell density. A direct comparison of the amounts of food assimilated is not possible because animals of different body size were used in these experiments (A. islandica, 4.40 g dry-tissue weight; M. modiolus, 2.31 g)**

are assimilated, and an increase in the range of concentration within which maximum amounts of food are assimilated

## VIII. GROWTH IN LAMELLIBRANCHIATE BIVALVES

It is not the aim of this chapter to present a comprehensive summary of all the growth data so far obtained, but to describe, at least, some of the relationships existing between food concentration, ration of food ingested and growth.

One of the main factors influencing growth is the amount of food ingested. From feeding experiments carried out by Winter and Langton (1976) with *Mytilus edilus* over periods of 3 months (Fig. 19), it is quite

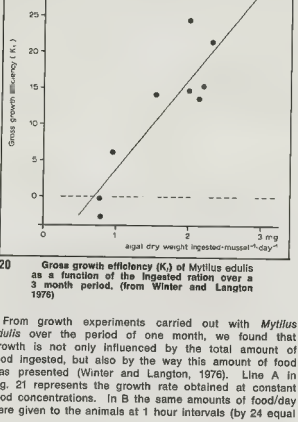



19 **Decrease or increase in dry-tissue weight for** Mytilus edulis **relative to the amount of food ingested over 3 month periods. (from Winter and Langton, 1976)**

obvious that with increasing amounts of food available (= Ingested) there is an increase in growth rate (see also Winter, 1974). From this graph it may be seen that the amount of food necessary to maintain body weight of mussels with an average dry-tissue weight of 30 mg, lies between 0·78 mg and 0·95 mg

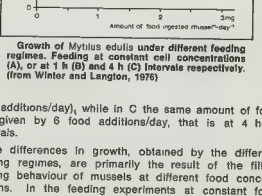
The so-called maintenance ration is a function of body size. From Fig. 17 it is obvious that the maintenance ration, expressed as percentage of dry-tissue weight, amounts to about 5% for very small mussels with an average dry-tissue weight of 3 mg, while a 1 g mussel only needs 1.5% of its dry-tissue weight (Bayne, 1975) to maintain body weight. The higher percentage for small individuals indicates a very high metabolic rate

It was found that a convinient way to evaluate growth, is to calculate the gross growth efficiency. The gross growth efficiency is defined as the increase or decrease in body weight, expressed in percentage of the amount of food ingested. From Fig. 20 it is obvious that in juvenile *Mytilus edulis* about 28% of the amount of food ingested are converted into meat at a daily food ration of 3 mg.




20 **Gross growth efficiency ($K_1$) of** Mytilus edulis **as a function of the ingested ration over a 3 month period. (from Winter and Langton 1976)**

From growth experiments carried out with *Mytilus edulis* over the period of one month, we found that growth is not only influenced by the total amount of food ingested, but also by the way this amount of food was presented (Winter and Langton, 1976). Line A in Fig. 21 represents the growth rate obtained at constant food concentrations. In B the same amounts of food/day were given to the animals at 1 hour intervals (by 24 equal




21 **Growth of** Mytilus edulis **under different feeding regimes. Feeding at constant cell concentrations (A), or at 1 h (B) and 4 h (C) intervals respectively. (from Winter and Langton, 1976)**

food additions/day), while in C the same amount of food was given by 6 food additions/day, that is at 4 hour intervals.

The differences in growth, obtained by the different feeding regimes, are primarily the result of the filter-feeding behaviour of mussels at different food concentrations. In the feeding experiments at constant food concentrations, it is always guaranteed that,

Table 11. — **Comparison of the three feeding regimes administered to** Mytilus edulis **on the basis of the calculated regression lines (see Fig. 21). Feeding at constant cell concentrations (A) or at 1 h (B) and 4 h intervals respectively (from Winter and Langton, 1976)**

| Amount of food ingested/mussel and day (dry weight) | Increase in dry-tissue weight (in % of the initial dry-tissue weight) | | |
|---|---|---|---|
| | Experiment | | |
| (mg) | A | B | C |
| 1 | 18 8 | 4.9 | 10.4 |
| 2 | 61 0 | 31.9 | 28.4 |
| 3 | 101 1 | 59.0 | 46.4 |

a) the cell concentration is high enough, at least above food concentration "B" (comp. Fig. 11),

b) there are no periods of rest in filter-feeding (food concentration not below "A"),

c) no formation of pseudofaeces (loss of food and organic material in the form of mucus) takes place (food concentration below "C"), and

d) a more or less steady food intake and, consequently, food digestion is possible.

The relatively low growth rate at the highest food level, when feeding at four hour intervals, is caused by an accumulation of food within the thanks from feeding period to feeding period (concentration above "C"). At the lowest food level, feeding at four hour intervals seems to be more economical than feeding at one hour intervals because the concentration is not so greatly reduced that a sufficient amount of food can be obtained only at maximum filtration activity.

The results of these feeding experiments are summarized in Table 11 where A represents feeding at constant food concentrations and B and C feeding at one and four hour intervals respectively. From this Table it can be seen that at constant food concentrations the increase in dry-tissue weight after one month is more or less twice as high as the growth obtained at either of the other two feeding regimes. These results may be very important for aquaculture systems

A summary of all the relationships between metabolism and body size are given in Table 12. From this Table it is clear that the general allometric equation may be used to describe the relationships between body size and (a) filtration rate, (b) gill area, (c) ration ingested, (d) oxygen consumption, (e) ration assimilated, (f) rate of excretion, and (g) maintenance ration. Quantifications of this kind offer the hope that studies on the feeding behaviour of lamellibranchiate bivalves have reached the stage where they can contribute useful predictions for the culture of economically important species.

**Table 12. — Relationships between Metabolism and Body size.**

General allometric equation: $R = a W^b$

R = Rate or Ration under consideration
W = Body size ( here: dry tissue weight in g )
a and b = constants

A. Rate of Filtration ( l / h )

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mytilus edulis | (1) | $FR_{2\text{-}6} = 3.900_{10}$ | $W^{0.60}$ |
| | (2) | $FR_{20} = 2.410_{12}$ | $W^{0.74}$ |
| | (3) | $FR_{40} = 1.313_{12}$ | $W^{0.73}$ |
| Modiolus modiolus | (4) | $FR_{20} = 0.929_{12}$ | $W^{0.74}$ |
| Cerastoderma edule | (5) | $FR = 2.000_{10}$ | $W^{0.58}$ |
| Arctica islandica | (6) | $FR_{20} = 1.602_{12}$ | $W^{0.66}$ |
| Pecten irradians | (7) | $FR = 4.742_{24}$ | $W^{0.82}$ |
| Didacna trigonoides | (8) | $FR_{40} = 1.324_{20}$ | $W^{0.75}$ |
| Mytilus californianus | (9) | $FR = 1.610_{15}$ | $W^{0.46}$ |

B. Gill area ($cm^2$)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mytilus edulis | (1) | GA = 34.34 | $W^{0.65}$ |

C. Ration ingested per day as % of W ( % )

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mytilus edulis | (1) | $JR_{20\text{-}40} = 6.68_{12}$ | $W^{-0.26}$ |
| Modiolus modiolus | (2) | $JR_{20} = 3.71_{12}$ | $W^{-0.26}$ |
| Arctica islandica | (3) | $JR_{20} = 6.45_{12}$ | $W^{-0.34}$ |

D. Rate of Oxygen Consumption ( $ml\ O_2$ / h )

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mytilus edulis | (1) | $OR = 0.37_{10}$ | $W^{0.75}$ |
| | (2) | $OR = 0.32_{15}$ | $W^{0.70}$ |
| | (3) | $OR = 0.55_{15}$ | $W^{0.77}$ |
| Mytilus californianus | (4) | $OR = 0.63_{19}$ | $W^{0.84}$ |
| | (5) | $OR = 0.54_{13}$ | $W^{0.65}$ |
| Cerastoderma edule | (6) | $OR = 0.37_{10}$ | $W^{0.77}$ |

E. Ration assimilated as % of Food Ingested ( % )

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mytilus edulis | (1) | $AR_{2\text{-}6} = 78.16_{10}$ | $W^{-0.02}$ |
| Modiolus modiolus | (2) | $AR_{20} = 87.49_{12}$ | $W^{-0.04}$ |
| Arctica islandica | (3) | $AR_{20} = 66.31_{12}$ | $W^{-0.14}$ |

F. Rate of Excretion of Ammonia - Nitrogen ( µg / h )

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mytilus californianus | (1) | $ER_{NH_4} = 23.88_{13}$ | $W^{0.82}$ |

G Ration of Maintenance per day as % of W ( % )

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mytilus edulis | (1) | MR = $1.28_{12}$ | $W^{-0.25}$ |

References to Table 12: A/1, Vahl, 1973 c; A/2, A/3, Winter, 1973; A/4, Winter, 1969 A/5, Vahl, 1973 a; A/6, Winter, 1969; A/7, Chipman and Hopkins, 1954; A/8, Sarnia, 1976; A/9, Bayne **et al.**, 1976 a; B/1, Vahl, 1973 c; C/1, Winter, 1973; C/2, C/3, Winter, 1969; D/1, Vahl, 1973 c. D/2, Krüger, 1960; D/3, Bayne **et al.**, 1973; Wheden and Sommed, 1937; D/5, Bayne **et al.**, 1976 a; D/6, Vahl, 1973 a; E/1, Vahl, 1973 c ; E/2, E/3, Winter, 1969; F/1, Bayne **et al.**, 1976 b; G/1, present work

# LITERATURE CITED


ALI R.M., 1970. — The influence of suspension density and temperature on the filtration rate of *Hiatella acrtica*. *Mar. Biol.*, 6, p. 291-302

ALLEN J.A., 1962. — Preliminary experiments on the feeding and excretion of bivalves using *Phaeodactylum* labelled with 32 P. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 42, p. 609-623.

ATKINS D., 1937. — On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part II. Sorting devices on the gills. *Q. Jl microsc. Sci.*, 79, p. 339-373.

BAYNE B.L., 1967. — The respiratory response of *Mytilus perna* L (Mollusca: Lamellibranchia) to reduced environmental oxygen. *Physiol. Zool.*, 40, p. 307-313.

BAYNE B.L., 1971. — Ventilation, the heart beat and oxygen uptake by *Mytilus edulis* (L) in declining oxygen tension. *Comp. Biochem. Physiol.*, 40 A, p. 1065-1085.

BAYNE B.L., 1975. — Reproduction in bivalve molluscs under environmental stress. p. 259-277. In: Physiological ecology of estuarine organisms. Vernberg, J.F. (Ed.), South Carolina Press. Columbia, South Carolina, 397 p.

BAYNE B.L., BAYNE C.J., CAREFOOT T.C. and THOMPSON R.J., 1976 a. — The physiological ecology of *Mytilus californianus* Conrad. 1. Metabolism and energy balance. *Oecologia* (Berl.), 22, p. 211-228.

BAYNE B.L., BAYNE C.J., CAREFOOT T.C. and THOMPSON R.J., 1976 b. — The physiological ecology of *Mytilus californianus* Conrad. 2. Adaptations to low oxygen tension and air exposure *Oecologia* (Berl.), 22, p. 229-250.

BAYNE B.L., THOMPSON R.J. and WIDDOWS J., 1973. — Some effects of temperature and food on the rate of oxygen consumption by *Mytilus edulis* L. p. 181-193. *In:* Effects of temperature on ectothermic organisms. Wieser, W. (Ed.), Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag

BAYNE B.L., THOMPSON R.J. and WIDDOWS J., 1976 c. — Physiology 1. p. 121-206. *In:* Marine mussels, their ecology and physiology. Bayne B.L. (Ed.), Cambridge University Press, p. 506.

BAYNE B.L., WIDDOWS J. and THOMPSON R.J., 1976 d. — Physiology 2. p. 207-260. *In:* Marine mussels, their ecology and physiology. Bayne B.L. (Ed.), Cambridge University Press, 506 p.

BAYNE B.L., WIDDOWS J. and THOMPSON R.J., 1976 e. — Physiological integrations. p. 261-291. *In:* Marine mussels, their ecology and physiology. Bayne B.L. (Ed.), Cambridge University Press, 506 p

BERNARD F., 1972. — Nutrition of *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795): an aspect of estuarine energetics. Ph. D. Thesis, London, 448 p.

BERNARD F., 1974. — Particle sorting and labial palp function in the pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg 1795). *Biol. Bull mar. biol. Lab.* Woods Hole, 146, p. 1-10.

CHIPMAN W.A. and HOPKINS J.G., 1954. — Water filtration by the bay scallop, *Pecten irradians*, as observed with the use of radioactive plankton. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 107, p. 80-91.

COLE H.A. and KNIGHT-JONES E.W., 1949. — Quantitative estimation of marine nannoplankton. *Nature*, Lond., 164, p. 694-696.

CONOVER R.J., 1966. — Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnol. Oceanog.*, 11, p. 338-345

COUGHLAN J., 1969. — The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. *Mar. Biol.*, 2, p. 356-358.

COUGHLAN J and ANSELL A.D., 1964. — A direct method for determining the pumping rate of siphonate bivalves. *J. Cons perm. int. Explor. Mer.*, 29, p. 205-213.

DAME R.F., 1972. — Comparison of various allometric relationships in intertidal and subtidal American oysters. *Fishery Bull Fish Wildl. Serv. U.S.*, 70, p. 1121-1126.

DAVIDS C., 1964. — The influence of suspensions of microorganisms of different concentrations on the pumping and retention of food by the mussel (*Mytilus edulis* L.). *Neth. J. Sea Res.*, 2, p. 233-249.

DEAN D., 1957. — The experimental feeding of oysters. Ph. D Thesis Rutgers University.

DRAL A.D.G., 1967. — The movements of the latero-frontal cilia and the mechanisms of particle retention in the mussel (*Mytilus edulis* L.). *Neth. J. Sea Res.*, 3, p. 391-422.

DRAL A.D.G., 1968. — On the feeding of mussels (*Mytilus edulis* L.) in concentrated food suspensions. *Neth. J Zool.*, 18, p. 440-441.

FLUEGEL H. and SCHLIEPER C., 1962. — Der Einfluss physikalischer und chemischer Faktoren auf die Cilienaktivität und Pumprate der Miesmuschel *Mytilus edulis*. *Kieler Meeresforsch.*, 18, p. 51-56.

FOSTER-SMITH R.L., 1975 a. — The effect of concentration of suspension on the filtration rates and pseudofaecal production for *Mytilus edulis L., Cerastoderma edule* (L.) and *Venerupis pullastra* (Montagu). *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 17, p. 1-22.

FOSTER-SMITH R.L., 1975 b. — The effect of concentration of suspension and inert material on the assimilation of algae by three bivalves *J. mar. biol. Ass. U.K*, 55, p. 411-418.

FOSTER-SMITH R.L., 1975 c. — The role of mucus in the mechanism of feeding in three filter-feeding bivalves. *Proc. malac. Soc.* Lond 41, p. 571-588.

FOX D.L. and COE W.R., 1943. — Biology of the Californian sea mussel (*Mytilus californianus*). II. Nutrition, metabolism, growth and calcium deposition. *J. exp. Zool.*, 93, p. 205-249

FOX D.L., SVERDRUP H.U and CUNNINGHAM J.P., 1937. — The rate of water propulsion by the California mussel. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 72, p. 417-438.

HAVEN D.S. and MORALES-ALAMO R., 1970. — Filtration of particles from suspension by the American oyster *Crassostrea virginica*. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 139, p. 248-264.

HILDRETH D.I. and CRISP D.J., 1976. — A corrected formula for calculation of filtration rate of bivalve molluscs in an experimental flowing system. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 56, p. 111-120

HOPKINS A.E., 1931. — Temperature and shell movements of oysters. *Bull. Bur. Fish.*, Wash, 47, p. 1-14.

HOPKINS A.E., 1932 a. — Sensory stimulation of the oyster, *Ostrea virginica*, by chemicals. *Bull. Bur. Fish.*, Wash., 47, p. 249-261.

HOPKINS A.E., 1932 b. — Chemical stimulation by salts in the oyster, *Ostrea virginica*. *J. exp. Zool.*, 61, p. 14-27.

HOPKINS A.E., 1933. — Experiments on the feeding behaviour of the oyster *Ostrea gigas*. *J. exp. Zool.*, 64, p. 469-494.

HOPKINS A.E., 1935. — Temperature optima in the feeding mechanisms of the oyster, *Ostrea gigas*. *J. exp. Zool.*, 71, p. 195-208.

HOPKINS A.E., 1936 a. — Adaptation of the feeding mechanism of the oyster (*Ostrea gigas*) to changes in salinity. *Bull. Bur. Fish.*, Wash., 48, p. 345-363

HOPKINS AE, 1936 b. — Activity of the adductor muscle in oysters *Physiol. Zool.*, 9, p. 498-507

JORGENSEN C.B., 1949. — The rate of feeding by *Mytilus edulis* in different kinds of suspensions. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 28, p. 333-344

JORGENSEN C.B 1955. — Quantitative aspects of filter-feeding in invertebrates *Biol. Rev.*, 30, p. 391-454.

JORGENSEN C.B., 1960. — Efficiency of particle retention and rate off water transport in undisturbed lamellibranchs. *J. Cons perm. int. Explor. Mer.*, 26, p. 94-116.

JORGENSEN C.B., 1975 a. — Comparative physiology of suspension feeding. *A. Rev. Physiol.*, 37, p. 57-59.

JORGENSEN C.B., 1975 b. — On gill function in the mussel *Mytilus edulis* L. *Ophelia*, 13, p. 187-232.

KRUEGER F., 1960. — Zur Frage der Grössenabhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs von *Mytilus edulis* L. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 7, p. 125-148.

KUENZLER E.J., 1961 a. — Structure and energy flow of a mussel population in a Georgia salt marsh. *Limnol. Oceanogr.*, 6, p 191-204.

KUENZLER E.J., 1961 b — Phosphorus budget of a mussel population *Limnol. Oceanogr.*, 6, p. 400-415.

LAM R.K. and FROST B.W., 1976. — Model of copepod filtering response to changes in size and concentration of food. *Limnol Oceanogr.*, 21, p. 490-500.

LANGTON R.W., 1972. — Some aspects of the digestive rythm in the oyster *Ostrea edulis* (L.), M Sc. Thesis, Marine Science Laboratories, Menai Bridge, Anglesey, North Wales.

LEHMAN J.T., 1976. — The filter-feeder as an optimal forager, and the predicted shapes of feeding curves. *Limnol. Oceanogr.*, 21, p. 501-516.

LOOSANOFF V.L., 1962. — Effects of turbidity on some larval and adult bivalves. *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.*, 14, p. 80-94

LOOSANOFF V.L. and ENGLE J.B., 1942. — Effects of different concentrations of plankton forms upon shell movements, rate of water pumping and feeding and fattening of oysters. *Anat. Rec.*, 84, p. 86-87

LOOSANOFF V.L. and ENGLE J.B., 1947. — Effect of different concentrations of microorganisms on the feeding of oysters. *Fishery Bull. Fish Wildl. Serv. U.S.*, 51, p. 31-57

MIKHEJEV V.P. and SOROKIN Y.J., 1966. — Quantitative studies of *Dreissena* feeding habits by the radiocarbon method. *Zh. obshch. Biol.*, 27, p. 463-472.

MOORE H.J., 1971. — The structure of the latero-frontal cirri on the gills of certain lamellibranch molluscs and their role in suspension feeding. *Mar. Biol.*, 11, p. 23-27.

NELSON T.C., 1938. — The feeding mechanism of the oyster. *J. Morph.*, 63, p 1-61.

OWEN G., 1974 a. — Feeding and digestion in the Bivalvia. *Adv comp. Physiol. Biochem.*, 5, p. 1-35.

OWEN G., 1974 b. — Studies on the gill of *Mytilus edulis:* the eu-latero-frontal cirri. *Proc. R. Soc.* (B), 187, p. 83-91.

RAO K.P., 1953. — Rate of water propulsion in *Mytilus californianus* as a function of latitude. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 104, p 171-181.

READ K.R.H., 1962. — Respiration of the bivalve molluscs *Mytilus edulis* L. and *Brachidontes demissus plicatulus* Lamarck as a function of size and temperature *Comp. Biochem. Physiol.*, 7, p. 89-101.

RICE T.R. and SMITH R.J., 1958. — Filtering rates of the hard clam (*Venus mercenaria*) determined with radioactive plankton *Fishery Bull. Fish Wildl. Serv. U.S.*, 58, p. 73-82.

ROTTHAUWE H.W., 1958. — Untersuchungen zur Atmungsphysiologie und Osmoregulation bei *Mytilus edulis* mit einem kurzen Anhang über die Blutkonzentration von *Dreissensia polymorpha* in Abhängigkeit vom Elektrolytgehalt des Aussenmediums. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.*, 5, p. 143-159

SANINA L.V., 1976. — Rate and intensity of filtration in some Caspian sea bivalve mollusks. *Am. Geophys. U. Transl. Oceanogr.*, 15, p. 496-498.

SCHLIEPER C., 1963. — The filter feeding mechanism of bivalves, a constantly working engine or a controlled behavioral activity ? *Int. Congr. Zool.*, 1, p. 40.

SCHULTE E.H., 1975. — Influence of algal concentration and temperature on the filtration rate of *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 30, p. 331-341.

SEGAL E., RAO K.P. and JAMES T.W., 1953. — Rate of activity as a function of intertidal height within populations of some littoral molluscs. *Nature*, Lond., 172, p. 1108-1109.

SETNA S.B., 1930. — Neuro-musculature mechanism of the gill of *Pecten*. *Q. J. microsc. Sci.*, 73, p. 365-391.

STICKNEY A.P., 1964. — Feeding and growth of juvenile soft-shell clams, *Mya arenaria*. *Fishery Bull. Fish Wildl. Serv. U.S.*, 63, p. 635-655.

TAMMES P.M.L. and DRAL A.D.G., 1955. — Observations on the straining of suspensions by mussels. *Archs néerl. Zool.*, 11, p. 87-112.

TENORE K.R. and DUNSTAN W.M., 1973. — Comparison of feeding and biodeposition of three bivalves at different food levels. *Mar. Biol.*, 21, p. 190-195.

THEEDE H., 1963. — Experimentelle Untersuchungen über die Filtrationsleistung der Miesmuschel *Mytilus edulis* L. *Kieler Meeresforsch.*, *19, 20-41*

THOMPSON R.J. and BAYNE B.L., 1972. — Active metabolism associated with feeding in the mussel *Mytilus edulis* L. *J. exp mar. Biol. Ecol.*, 9, p. 111-124

THOMPSON R.J. and BAYNE B.L., 1974 — Some relationships between growth, metabolism and food in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 27, p. 317-326.

VAHL O., 1972 a. — Efficiency of particle retention in *Mytilus edulis* L. *Ophelia*, 10, p. 17-25.

VAHL O., 1972 b. — Particle retention and relation between water transport and oxygen uptake in *Chlamys opercularis* (L.) (Bivalvia). *Ophelia*, 10, p. 67-74.

VAHL O., 1973 a. — Porosity of the gill, oxygen consumption and pumping rate in *Cardium edule* (L.) (Bivalvia). *Ophelia*, 10, p. 109-118.

VAHL O., 1973 b. — Efficiency of particle retention in *Chlamys islandica* (O. F. Müller). *Astarte*, 6, p. 21-26.

VAHL O., 1973 c. — Pumping and oxygen consumption rates of *Mytilus edulis* L. of different sizes. *Ophelia*, 12, p. 45-52.

WALNE P.R., 1972 — The influence of current speed, body size, and water temperature on the filtration rate of five species of bivalves. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 52, p. 345-374.

WHEDON W.F. and SOMMER H., 1937. — Respiratory exchange of *Mytilus californianus*. *Z. vergl. Physiol.*, 25, p. 529-628.

WIDDOWS J., 1973. — The effects of temperature on the metabolism and activity of *Mytilus edulis* L. *Neth. J. Sea Res.*, 7, p. 387-396.

WIDDOWS J. and BAYNE B.L., 1971. — Temperature acclimation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 51, p. 827-843.

WILLEMSEN J., 1952. — Quantities of water pumped by mussels (*Mytilus edulis*) and cockles (*Cardium edule*). *Archs néerl. Zool.*, 10, p. 152-160.

WILSON J.H. and SEED R., 1974. — Laboratory experiments on pumping and filtration in *Mytilus edulis* L. using suspensions of colloidal graphite. *Ir. Fish. Invest.* (B), 14, p. 1-20.

WINTER J.E., 1969. — Ueber den Einfluss der Nahrungskonzentration und anderer Faktoren auf Filtrierleistung und Nahrungsausnutzung der Muscheln *Arctica islandica* und *Modiolus modiolus*. *Mar. Biol.*, 4, p. 87-135.

WINTER J.E., 1970. — Filter feeding and food utilization in *Arctica islandica* L. and *Modiolus modiolus* L. at different food concentrations. p. 195-206. *In:* Marine food chains. Steele J.H. (Ed.) Oliver and Boyd, Edinburgh. 552 p.

WINTER J.E., 1972. — Long-term laboratory experiments on the influence of ferric hydroxide flakes on the filter-feeding behaviour, growth, iron content and mortality in *Mytilus edulis* L. p. 392-396 *In:* Marine pollution and sea life. Ruivo M. (Ed.). Fishing News (Books) Ltd., London. 624 p.

WINTER J.E. 1973. — The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration, measured by a continuous automatic recording apparatus. *Mar. Biol.*, 22, p. 317-328.

WINTER J.E., 1974. — Growth in *Mytilus edulis* using different types of food. *Ber. dt. wiss. Komm Meeresforsch.*, 23, p 360-375

WINTER J.E., 1976. — Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small laboratory scale. II. The influence of suspended silt in addition to algal suspensions on growth. p. 583-600. *In*. Proc. 10th Eur. Symp. mar. Biol., Ostend, Belgium, Sept. 17-23, 1975. Persoone, G. and Jaspers, E. (Eds). Universa Press, Wetteren Vol. 1, 620 p

WINTER J.E. and LANGTON R.W., 1976. — Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small laboratory scale. I The influence of the total amount of food ingested and food concentration on growth. p. 565-581. *In:* Proc. 10th Eur. Symp. mar. Biol., Ostend, Belgium, Sept. 17-23, 1975. Persoone, G. and Jaspers, E. (Eds). Universa Press, etteren. Vol. 1. 620 p

# Etude de la croissance et de la longévité de quelques gastéropodes du littoral de Normandie

*par A. SOUPLET*

Institut de Biologie maritime et régionale, avenue Foch - 62930 Wimereux

## RÉSUMÉ

La croissance et la longévité de trois espèces de Mollusques gastéropodes *Patella vulgata L., Gibbula umbilicalis* (Da Costa) et *Littorina obtusata* (L.) ont été étudiées, par une méthode biométrique, sur les côtes rocheuses de Haute-Normandie.

Pour les trois espèces, les valeurs mesurées ont pu être ajustées avec une très bonne corrélation, à une courbe de Gompertz, et les paramètres mathématiques de la croissance ont été déterminés.

Par dérivations successives, la vitesse et l'accélération de la croissance de chaque espèce ont été calculées

L'action de la température sur la croissance est mise en évidence. Cependant, d'autres facteurs peuvent intervenir.

## SUMMARY

Growth and life-span of three species of Gastropods Molluscs: *Patella vulgata L., Gibbula umbilicalis* (Da Costa) and *Littorina obtusata* (L.) are studied, by a biometric method, on a rocky shore of Normandy.

For the three species, the measured values are fitted to a Gompertz curve with a very good correlation and the growth paramèters are determined.

The growth-rate and the growth-acceleration are calculated by successive derivations.

The action of temperature on growth is proved. But others factors, can have an effect upon growth.

## I. MATERIEL ET METHODE

Cette étude porte sur trois espèces de Gastéropodes : *Patella vulgata* L., *Gibbula umbilicalis* (Da Costa) et *Littorina obtusata* (L.)

Les récoltes ont été effectuées à Paluel, en Seine-Maritime*. A cet endroit l'estran est formé de roches calcaires. Il est de mode semi-battu. La périodicité des prélèvements a été mensuelle, d'octobre 1974 à septembre 1975, sauf en avril 1975

Les individus récoltés ont été mesurés au pied à coulisse, avec une précision de 1/10 de mm Les mesures ont été regroupées en histogrammes mensuels de fréquence de taille. Nous avons ensuite calculé la moyenne et l'écart type de chaque classe modale de ces histogrammes et avons reporté ces valeurs sur un même diagramme (Muus, 1973). En extrapolant à plusieurs années, les résultats obtenus sur cette année d'étude, nous avons pu déterminer un profil de croissance Ces valeurs empiriques ont ensuite été ajustées, par la méthode des moindres carrés, à une loi mathématique exprimant la croissance en fonction du temps Enfin, par dérivations successives, nous avons pu calculer les variations de la vitesse et de l'accélération de la croissance en fonction du temps

## II. RESULTATS

### 1. Patella vulgata

Nous avons mesuré la longueur de la coquille, suivant son plus grand axe. Les tailles minimales et maximales relevées sont respectivement de 2,2 mm et de 46,1 mm.

Le diagramme (fig. 1) construit à partir des histogrammes de fréquence de taille permet de définir deux profils de croissance, l'un débutant en octobre, l'autre en février-mars En fait, la période de reproduction de cette espèce s'étend d'août à février-mars (Choquet 1969) et Fretter et Graham (1962) signalent la présence de larves pélagiques de novembre à février, avec un maximum en décembre-janvier.

Les deux profils obtenus sont donc des valeurs extrêmes correspondant aux éclosions de septembre d'une part et de janvier d'autre part. Les ondulations que l'on remarque sur les courbes traduisent les variations de la croissance, corrélatives aux variations de température En effet, la croissance de la plupart des Mollusques se ralentit en saison froide et reprend en saison chaude (Lévêque, 1971 - Richard, 1971)

Il apparaît, d'autre part, que cette espèce a une durée de vie de cinq ans à cinq ans et demi. Suivant les régions, la longévité de *Patella vulgata* varie de deux à seize ans (Choquet, 1969). Dans le Boulonnais, Choquet (1968) leur attribue une durée de vie de 5 à 6 ans, ce que confirment nos résultats

A partir des valeurs de tailles relevées sur ces profils de croissance, nous avons pu construire, pour chaque génération, un diagramme de Ford-Walford (Ricker, 1958) (fig. 2-1). Ce diagramme donne la relation entre la taille au temps T et la taille au temps T + 1. Dans le cas présent la différence entre T et T + 1 est de 6 mois. Si la courbe T + 1 = f (T) est une droite, la croissance de l'espèce obéit à une loi de Von Bertalanffy (Ricker, 1958) et l'abscisse du point d'intersection de cette droite avec la première bissectrice correspond à la taille maximale de l'espèce.

* Ce travail a été effectué avec l'aide du Centre national pour l'exploitation des océans Contrat CNEXO n° 74/1135

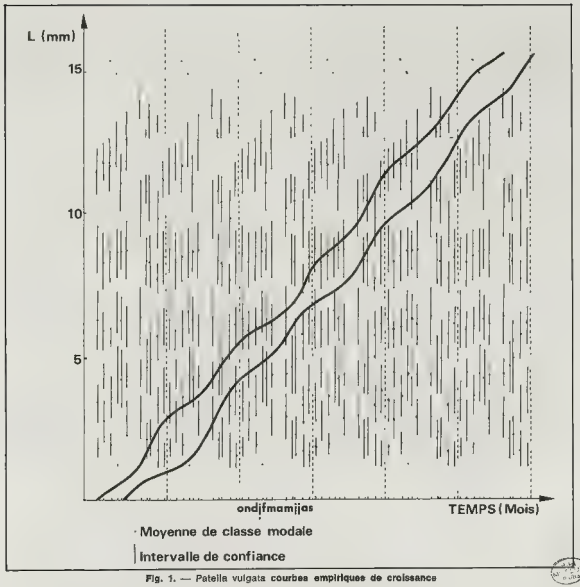



**Fig. 1.** — Patella vulgata **courbes empiriques de croissance**

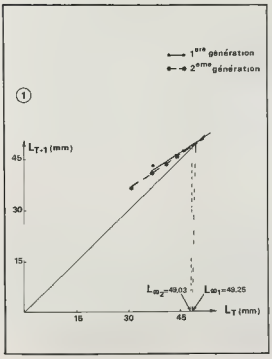
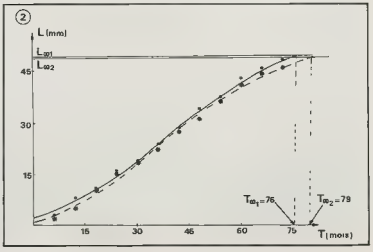



**Fig. 2.** — Patella vulgata **étude de la croissance**
1. **diagramme de FORD-WALFORD (pour plus de clarté, seule la partie terminale de chaque courbe a été représentée)**
2. **courbe de croissance théorique**



Pour *Patella vulgata* la courbe représentant chaque génération sur le diagramme de Ford-Walford est constituée de deux segments de droite, le premier étant parallèle à la première bissectrice. Ceci indique donc que les valeurs mesurées ne peuvent s'ajuster à une loi de Von Bertalanffy. Toutefois, nous pouvons utiliser le diagramme pour estimer la longueur maximale de chaque génération ($L\infty$). Elle est de 49,25 mm pour la première génération et de 49,03 mm pour la deuxième (fig. 2-1).

Nous avons ensuite essayé d'ajuster nos données à une loi de Gompertz, qui exprime la croissance de certaines espèces de mollusques (Theisen, 1973). Cette loi a pour formule générale :

$$L = L\infty \cdot a^{b^{kT}}$$

Pour la première génération de *Patella vulgata* l'équation de croissance est :

$$L = 74{,}11 \cdot 0{,}07^{0{,}85^{\frac{T}{6}}}$$

où L est exprimé en mm et T en mois

Cette longévité maximale est :

pour la première génération : $T\infty = 76$ mois
pour la deuxième génération : $T\infty = 79$ mois.

En dérivant deux fois l'équation de Gompertz nous obtenons les équations de la vitesse et de l'accélération de la croissance

Les formules générales de ces équations sont :

*Vitesse* $V = \lambda\, a^{b^{kT}} \cdot b^{kT} \cdot \mathrm{Ln}\, a \cdot \mathrm{Ln}\, b \cdot k$

avec V en mm/mois
T en mois

*Accélération* $A = [\lambda\, a^{b^{kT}} \cdot k^2 \cdot b^{kT} \mathrm{Ln}\, a \cdot \mathrm{Ln}\, b]$
$[(\mathrm{Ln}\, a \cdot \mathrm{Ln}\, b \cdot b^{kT}) + \mathrm{Ln}\, b]$

avec A en mm/mois²
T en mois

La figure 3 montre les variations de la vitesse et de l'accélération de la croissance au cours de la vie pour les deux générations de Patelles.

### 2. Gibbula umbilicalis

La dimension mesurée est ici la hauteur de la coquille, de l'apex à la base de la columelle. Les dimensions extrêmes sont 1,2 mm et 15,4 mm. Une seule génération est décelable graphiquement. Elle apparaît vers avril-mai. D'après Cornet et Marche-Marchad (1951) la ponte s'étend sur une période restreinte de fin mars à début juin, période trop courte pour que plusieurs générations se différencient. La durée de vie mesurée graphiquement est de 10 ans. Ceci est très proche des observations de Franc (1958) qui signale une longévité de 8 à 9 ans pour *Gibbula umbilicalis* dans le Boulonnais.

La croissance de *Gibbula umbilicalis* obéit elle aussi à une loi de Gompertz dont les paramètres mathématiques sont indiqués dans le tableau 1.

Les valeurs de la vitesse et de l'accélération de la croissance en fonction du temps figurent dans le tableau 2.

### 3. Littorina obtusata

Chez cette espèce nous avons mesuré la hauteur de la coquille, de l'apex au bord inférieur du péristome. Les valeurs extrêmes mesurées sont de 0,3 mm et de 16,1 mm. Nous pouvons différencier deux générations, l'une prenant naissance en avril, l'autre en août-septembre. Ceci confirme les dates d'apparition de larves données par Thorson (1946). D'après cet auteur, en ce qui concerne les côtes de France, la reproduction aurait lieu de mars à septembre.

La durée de vie, déterminée graphiquement est de 3 à 4 ans. Daguzan (1975) trouve une longévité de 4 ans pour *Littorina obtusata* sur la côte sud de la Bretagne.

**Tableau 1. — Paramètres de la croissance de trois espèces de Gastéropodes.**

| | Equation de la croissance | r | $L\infty$ (mm) | $T\infty$ (mois) |
|---|---|---|---|---|
| *Patella vulgata* | 1re gén. $L = 74{,}11 \times 0{,}07^{0{,}85^{\frac{T}{6}}}$ | $\simeq 1$ | 49,25 | 76 |
| | 2e gén. $L = 58{,}15 \times 0{,}02^{0{,}79^{\frac{T}{6}}}$ | $\simeq 1$ | 49,03 | 79 |
| *Gibbula umbilicalis* | $L = 18{,}11 \times 0{,}04^{0{,}87^{\frac{T}{6}}}$ | $\simeq 1$ | 18,26 | 145 |
| *Littorina obtusata* | 1re gén. $L = 19{,}26 \times 0{,}09^{0{,}75^{\frac{T}{7}}}$ | $\simeq 1$ | 15,79 | 36 |
| | 2e gén. $L = 18{,}41 \times 0{,}05^{0{,}76^{\frac{T}{4}}}$ | $\simeq 1$ | 15,93 | 50 |

Pour la deuxième génération nous avons :

$$L = 58{,}15 \cdot 0{,}02^{0{,}79^{\frac{T}{6}}}$$

Dans les deux cas, le coefficient de corrélation r, qui mesure la valeur de cet ajustement est égal à $\simeq 1$ (0,999).

La figure 2-2 montre d'ailleurs que les valeurs empiriques (• et °) sont très proches des courbes théoriques de croissance

Les différents paramètres de la croissance de *Patella vulgata* sont réunis dans le tableau 1.

L'équation représentative de la croissance comporte un terme $L\infty$ différent de la longueur maximale estimée d'après le diagramme de Ford Walford. En fait, ce terme correspond à une limite mathématique vers laquelle tend L quand T tend vers l'infini, autrement dit, il s'agit d'une longueur maximale théorique qui n'est jamais atteinte.

Dans la suite de l'exposé ce paramètre sera appelé $\lambda$ (lambda). La longueur maximale déterminée graphiquement est une limite réelle de la croissance atteinte par de rares individus

Cette longueur maximale permet de déterminer la longévité maximale de l'espèce ($T\infty$). C'est l'abscisse du point d'intersection de la courbe représentative de la croissance avec la droite d'équation $L = L\infty$

**Tableau II. — Vitesse et accélération de la croissance en fonction de l'âge chez Gibbula umbilicalis**

| Age (années) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V (mm/mois) | 0,089 | 0,122 | 0,145 | 0,155 | 0,152 | 0,140 | 0,123 | 0,104 | 0,085 | 0,069 |
| A (mm/mois²) | 0,0030 | 0,0024 | 0,0014 | — 0,0002 | — 0,0007 | — 0,0013 | — 0,0015 | — 0,0016 | — 0,0015 | — 0,0013 |

Pour cette espèce comme pour les deux précédentes la croissance suit une loi de Gompertz dont les paramètres figurent dans le tableau 1.

Le tableau 3 indique les valeurs de la vitesse et de l'accélération de la croissance en fonction de l'âge

## III. DISCUSSION

### 1. Patella vulgata

Le décalage de temps entre les individus nés au début de la période de reproduction et ceux nés à la fin de cette période pourrait laisser penser que les paramètres de la croissance des deux générations seraient très différents. En fait le handicap subi par les animaux naissant au début de l'automne, c'est-à-dire au début d'une période de croissance faible, est rapidement comblé et les deux générations présentent des courbes de croissance sensiblement identiques. Les longueurs et les longévités maximales des deux stocks d'individus sont semblables. Choquet (1968), en suivant des lots d'animaux marqués était arrivé aux mêmes conclusions. La différence entre les deux générations se fait plus nette lorsqu'on analyse la vitesse et l'accélération de la croissance (fig. 3). La deuxième génération, qui naît au début du printemps, a une croissance dont l'accélération est plus forte au départ que celle des individus nés en octobre. Par la suite l'accélération et la vitesse de la deuxième génération diminuent plus vite que celles de la première, ce qui permet à celle-ci de rattraper son retard.

Par comparaison avec les Patelles récoltées dans le Boulonnais (Choquet, 1968), celles de Paluel semblent avoir une croissance plus lente. En effet, les Patelles du Boulonnais atteignent une taille de 43 à 45 mm en 4 ans et Choquet estime qu'elles atteignent leur taille maximale (50 mm) en 5 ans. A 4 ans les Patelles de Paluel ont une taille comprise entre 31 et 34 mm et elles atteignent leur taille maximale théorique de 49 mm en 6 ans 1/2 environ. Paluel étant situé à une latitude plus basse que Boulogne, la température moyenne y est plus élevée ce qui devrait entraîner, pour la plupart des invertébrés, une croissance plus rapide. L'influence de la température sur la croissance est d'ailleurs visible sur la courbe empirique (fig. 1) où nous voyons que la croissance se ralentit l'hiver pour reprendre au printemps. L'influence d'autres facteurs, vraisemblablement trophiques, doit donc être invoquée pour expliquer cette différence de vitesse de croissance entre les deux sites

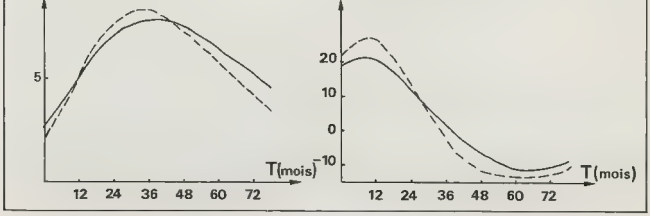
### 2. Gibbula umbilicalis

La durée de vie maximale ($T\infty$ = 145 mois) que nous avons trouvée pour cette espèce est plus élevée que celle indiquée par Franc (1968) qui accorde une durée de vie de 9 ans à l'espèce dans le Boulonnais. Là encore l'influence de la température, pourtant très sensible sur la croissance, n'est pas seule à intervenir. Le manque de documentation sur cette espèce ne nous a pas permis d'effectuer d'autres comparaisons.

### 3 Littorina obtusata

La différence entre les deux générations est ici plus sensible. La première génération, qui apparaît en mars-avril, bénéficie à la naissance de conditions climatiques moins favorables que la deuxième qui apparaît en août-septembre. La vitesse initiale de croissance est d'ailleurs plus forte pour le deuxième lot d'individus que pour le premier. La première génération ayant une croissance plus rapide que la deuxième atteint donc sa taille maximale plus tôt, au bout de 3 ans. Les animaux nés en automne n'atteignent cette taille qu'en 4 ans. Daguzan

**Fig. 3. — Patella vulgata étude de la croissance**
**1. Vitesse de croissance**
**2. Accélération de la croissance (en trait plein : 1re génération ; en pointillé : 2e génération).**



(1975) accorde une longévité de 4 ans aux *Littorina obtusata* de Bretagne sud. Ses valeurs de hauteur de la coquille en fonction de l'âge sont sensiblement identiques aux nôtres. En fait comme cet auteur ne différencie pas les générations d'hiver et d'été, nous pouvons considérer que ses valeurs sont intermédiaires entre tion des générations qui auront des croissances différentes

Les différences de croissance, entre animaux de deux sites différents, inexplicables par la seule différence de température, montrent l'influence sur la croissance d'autres facteurs tels que la nature du substrat, son

**Tableau III. — Vitesse et accélération de la croissance en fonction de l'âge chez** Littorina obtusata

| Age (mois) ..... | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1ère gén. ..... | 0,400 | 0,475 | 0,503 | 0,490 | 0,447 | 0,390 | 0,327 | 0,268 | 0,214 |
| V (mm/mois) | | | | | | | | | |
| 2e gén ..... | 0,374 | 0,495 | 0,540 | 0,516 | 0,448 | 0,365 | 0,284 | 0,214 | 0,157 |
| 1ère gén. ..... | 0,024 | 0,013 | 0,002 | — 0,008 | — 0,013 | — 0,015 | — 0,016 | — 0,014 | — 0,012 |
| A (mm/mois²) | | | | | | | | | |
| 2e gén. ..... | 0,038 | 0,021 | 0,002 | — 0,013 | — 0,020 | — 0,021 | — 0,019 | — 0,016 | — 0,012 |

les valeurs correspondantes des deux générations que nous avons dissociées.

## IV. CONCLUSION

Nous avons vu que la croissance des trois espèces étudiées ici obéit au même type de loi mathématique. Le fait important à noter est l'influence de la température sur la croissance. De façon générale, pour une espèce donnée et en un lieu donné, la croissance se ralentit durant la saison froide et s'accélère durant la saison chaude. La durée de la période de reproduction détermine, en fonction de l'époque de naissance, la séparaexposition aux vagues, la quantité et la qualité de la nourriture

La méthode que nous avons utilisée pour déterminer la croissance et la longévité de ces trois espèces de gastéropodes présente l'avantage de ne pas recourir à un élevage, où les conditions réelles du milieu sont difficilement reconstituées, ou à un marquage qui peut déranger l'animal. L'inconvénient majeur de notre technique est qu'elle nécessite une interprétation et une extrapolation des données, ce qui est toujours susceptible d'introduire une erreur. Toutefois, la bonne corrélation obtenue entre les valeurs empiriques et la loi mathématique semble montrer la validité de la méthode

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


CHOQUET M., 1968. — Croissance et longévité de *Patella vulgata* L. (Gastéropode Prosobranche) dans le Boulonnais *Cah biol. mer* IX : 443-466, 5 Fig

CHOQUET M., 1969. — Contribution à l'étude du cycle biologique et de l'inversion du sexe chez *Patella vulgata* L. (Mollusque Gastéropode Prosobranche). Th. Doc. Etat. *Fac. Sci*, Lille 234 p., 51 Fig., 19 pl.

CORNET R. et MARCHE-MARCHAD I., 1951. — Inventaire de la faune marine de Roscoff. Mollusques. *Prieur et Robin* édit., Paris, 80 p.

DAGUZAN J., 1975. — Recherches sur les Littorinidae. Th. Doc Etat. *Fac. Sci.* Rennes, 400 p. 158 Fig. XVI pl

FRANC A., 1968. — Classe des Gastéropodes. Traité de Zoologie, Tome V, Fasc. III, 1-889, 441 Fig. *Masson* édit., Paris

FRETTER V. et GRAHAM A., 1962. — British Prosobranch Molluscs *Ray. Society* edit., London, 755 p., 317 Fig.

LEVEQUE C., 1971. — Equation de Von Bertalanffy et croissance des Mollusques benthiques du lac Tchad *Cah. O.R.S.T.O.M.*, *Vol. V, n*3/4 : 263-283, 21 Fig

MJUS K., 1970. — Settling, growth and mortality of young bivalves in the Oresund. *Ophelia* 12 : 79-116, 22 Fig

RICHARD A., 1971. — Contribution à l'étude expérimentale de la croissance et de la maturation sexuelle de *Sepia officinalis* L. (Mollusque Céphalopode). Th Doc. Etat. *Fac. Sciences* Lille, 264 p., 104 Fig., XLII pl

RICKER W.E., 1958 — Handbook of computation for biological statistics of Fish populations. *Fish. res. board. Can.* edit. Ottawa, 300 p

THEISEN B.F., 1973 — The growth of *Mytilus edulis* L. (Bivalvia) from Disko and Thule district, Greenland. *Ophelia* 12 : 59-77, 12 Fig.

THORSON G., 1946. — Reproduction and larval development of danish marine bottom invertebrates *C.A. Reitzels Forlag* edit. KOBENHAVN, 523 p., 199 Fig.

# Utilisation des eaux résiduaires pour la production de phytoplancton

*par Roger FAVERIS et Pierre LUBET*

Laboratoire maritime de Luc-sur-Mer.
Université de Caen, esplanade de la Paix - 14032 Caen Cedex.
Travail effectué sur contrat CNEXO, n° 75/5138.

## RÉSUMÉ

Les algues unicellulaires *(Tetraselmis, Monochrysis, Isochrysis* et *Chlorella)* se développent rapidement à des salinités faibles (19 ‰). Dans un milieu constitué de 1/3 d'eau résiduaire et 2/3 d'eau de mer, on retrouve tous les éléments du milieu de Walne mais à des concentrations plus faibles, notamment pour les nitrates. La culture en grand volume se fait à l'extérieur du laboratoire dans des conditions naturelles de température et d'éclairement

Pour les Chrysophytes, le développement est comparable à celui du milieu témoin, mais pour *Tetraselmis*, le rendement correspond à 65 % du rendement témoin à la même salinité. La durée de la culture est très variable car elle se trouve envahie par des diatomées

## SUMMARY

The species *(Tetraselmis, Monochrysis, Isochrysis* and *Chlorella)* grow quickly in low salinities (19 g/l NaCl). The culture medium is composed of 1/3 sewage effluent and 2/3 seawater. All mineral salts and miscellaneous of Walne's medium are used in our experimental medium but at lower concentrations, notably nitrates. Our experimentation was done outside the laboratory in large batches under natural conditions of light and temperature.

For *Isochrysis* and *Monochrysis* growth is about the same in the two mediums, for *Tetraselmis*, the yield under these conditions corresponds to 65% that obtained using Walne's medium at the same salinity. The lengh of cultivation time is very variable because in the open the batches are contamined by diatoms.

A la suite des travaux de Dunstan et Tenore aux U.S.A., il nous a semblé possible de produire en grande quantité le phytoplancton nécessaire à l'alimentation des mollusques filtrants du laboratoire. La salle sterile, thermostatée à 18° C, a été l'unité initiale de production, permettant à la fois la production et la conservation des souches pures dans de bonnes conditions. Ce procédé étant onéreux et nécessitant des manipulations nombreuses, nous avons produit sur milieu résiduaire les espèces d'algues unicellulaires suivantes :

*Monochrysis lutheri* (monoflagellée de 4 µ)
*Isochrysis galbana* (biflagellée de 3-4 µ)
*Tetraselmis suecica* (cellule à 4 flagelles de 7-8 µ)
*Chlorella sp* (petite cellule immobile de 2 à 3 µ).

### . ETUDE DE LA CROISSANCE

Les différents paramètres de la croissance ont eté déterminés à partir de cultures faites sur milieu syntnétique de Conway mis au point par Walne, et à la salinité de 32 ‰ (salinité moyenne de l'eau de la station).

Dans le cas d'espèces unicellulaires, où a multiplication se fait de façon binaire, le logarithme à base 2 de la densité cellulaire a été utilisé pour déterminer les paramètres de croissance.

En effet, après le
premier dédoublement, nous avons $X = 2\ Xo$
deuxième dédoublement $X_2 = 2_2\ Xo$
n dédoublements $X_n = 2^n\ Xo$

1. **Le taux de croissance** étant le nombre de divisions par unité de temps, dans un intervalle de temps t, le nombre de dédoublements sera : $X_t = 2^{rt}\ Xo$ ; il est exprimé en nombre de divisions par jour et correspond à la dérivée par rapport au temps $r = \frac{dx}{dt} \frac{1}{x}$ ou $\frac{dt}{dx} = 2^{rt}$

sous forme logarithmique : $r = \frac{\log_2 Xt - \log_2 Xo}{t}$

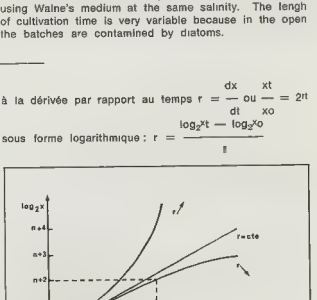



**Fig. 1. — Représentation semi-logarithmique de la croissance.**

2. **Le temps moyen de régénération** (temps moyen de division cellulaire) qui est l'intervalle de temps pendant lequel le $\log_2$ augmente d'une unité, est aisément calculé en utilisant les logarithmes à base 2

3. **Le temps de latence**, qui est la période précédant la multiplication cellulaire, peut être déterminé graphiquement sur la courbe de croissance (fig. 2) : à partir de la croissance réelle, nous déterminons la croissance théorique fournie par la droite parallèle à la phase exponentielle et passant par le point d'origine $X_t$. Le temps de latence $T_e$ est donné par la parallèle à l'axe des abscisses unissant les deux types de croissance Il correspond au retard de la croissance réelle sur la croissance idéale. Cette phase de latence est fonction de l'âge de l'inoculum, donc du taux de cellules viables.

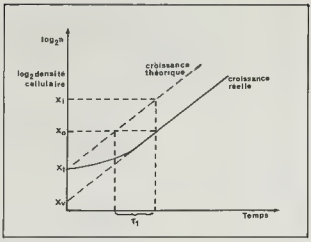



**Fig. 2. — Détermination graphique de la latence.**

## II. DETERMINATION DE LA SALINITE OPTIMALE

Les espèces étudiées étant des algues d'estuaire, et dans le but d'ajouter un effluent de faible salinité, nous avons déterminé la salinité optimale de chacune d'elles.

1. **Dans le cas de Isochrysis,** le taux de croissance est le plus élevé aux salinités 16 et 32 ‰ en remarquant que celui-ci est très faible ou nul à la salinité 29 ‰. En dehors de cette valeur, la croissance est satisfaisante quelle que soit la salinité, comme le montrent les figures 3 et 4.

2. **L'espèce Monochrysis** se développe bien à des salinités de 16 à 20 ‰. Cependant les courbes de croissance semi-logarithmique prouvent la présence de deux types cellulaires qui ont des paramètres différents (temps de grande. Ce faible abaissement de salinité ne sera pas retenu, car il ne permettrait pas un apport suffisant d'effluent contenant des éléments nutritifs. Nous retiendrons donc la salinité 16 ‰ dont le rendement absolu est identique à celui obtenu pour une salinité 32 ‰, avec

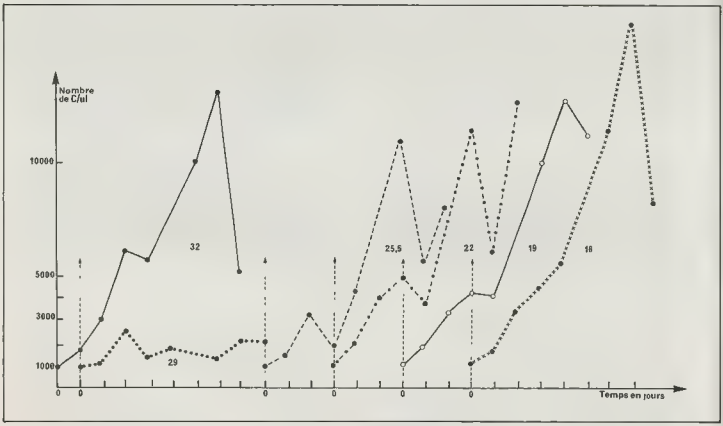



**Fig. 3. — Salinité de Isochrysis galbana n = f (t).**

latence, temps de génération). Ces différences ne sont notables que dans la phase initiale de la culture ; au bout de 10 à 12 jours, les deux types de cellules se confondent

3. **La croissance de Chlorella** est encore moins affectée par la dessalure, peu de variations se remarquent en passant d'une salinité à une autre.

4. **L'optimum de salinité** de Tetraselmis suecica serait de 29 ‰ puisque la densité cellulaire se trouve la plus un blooming obtenu en un temps record La figure 5 montre l'évolution de la culture pour les diverses salinités que nous avons testées.

## III. PRODUCTIVITE

La productivité phytoplanctonique a été mesurée au photomètre, au Coulter-Counter ou à la cellule Malassez en ne considérant que le nombre de cellules produites par unité de volume. Dans le cas de Tetraselmis, qui

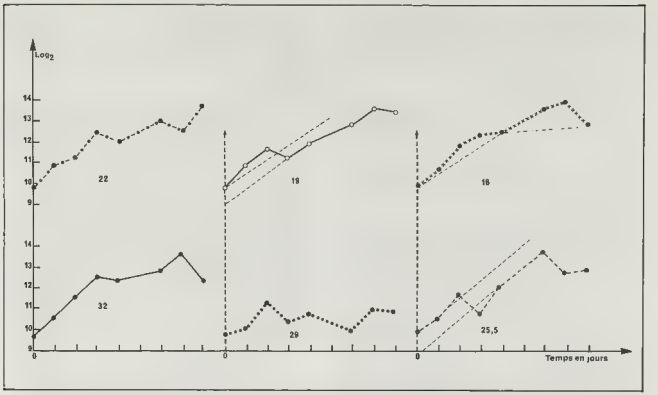



**Fig. 4. — Effet de la salinité sur la croissance d'Isochrysis galbana (log.n = f (t)**

est la plus grosse cellule que nous avons cultivée, la variation de pression osmotique est notée de façon appréciable. Les mesures optiques sont entachées d'une grande erreur. La seule mesure correcte est fournie par la pesée de la matière organique produite par unité de volume.

Dans le cas de Tetraselmis, le poids sec de matière organique croît en raison inverse de la salinité. La salinité à retenir n'est plus de 29‰ mais 16‰, d'autant que cette production est obtenue dans le délai le plus bref.

Pour l'espèce Monochrysis, il en est de même, la salinité la plus favorable est 19‰, la productivité étant le triple de celle obtenue à 32‰. Un autre facteur pourrait limiter la productivité : la densité cellulaire qui est la plus forte aux faibles salinités.

## IV. CULTURE SUR EFFLUENT DOMESTIQUE

La culture sur effluent domestique a été menée dans les mêmes conditions que la culture sur eau de mer enrichie par le milieu de Walne, (photoperiode, température, intensité lumineuse, etc...), mais il n'y avait pas autoclave. L'analyse chimique de cette eau résiduaire qui ne contient aucun rejet industriel a montré la pauvreté du milieu en nitrates : 0,1 à 0,3 mg/l, alors que l'eau de mer en contient 0,8 mg/l. Les nitrites sont très abondants (0,1 à 0,3 mg/l contre 0,01 mg/l en eau de mer). L'effluent est aussi très riche en phosphates : 2 à 8 mg/l contre 0,16 mg/l pour l'eau de mer. Le milieu renferme encore de très nombreux ions (phosphore, cuivre, zinc, etc...) dans des proportions équivalentes à celles de l'eau de mer, seul le cuivre est plus abondant (1.200 ppb). Cette abondance semble due aux canalisations d'eau et constitue un danger pour l'élevage des larves car les algues concentrent cet ion toxique, notamment Monochrysis. Notre milieu de culture est constitué de la façon suivante :

2/3 d'eau de mer enrichie par 1/3 d'effluent domestique et ses propriétés physico-chimiques sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| salinité | 22 ‰ |
| pH | 8 à 8,2 |
| NO 3 | 0,4 mg/l |
| PO 3 | 1,5 à 2 mg/l |
| Fer | 3 ppm |
| Phosphore | 13 ppm |
| Cuivre | 465 ppb |

Le milieu témoin étant le milieu de Walne, nous notons que les deux milieux ont une composition chimique comparable puisque les mêmes sels minéraux et les mêmes métaux se retrouvent mais à des concentrations différentes.

1. **En petit volume (de 6 à 10 litres)** le développement des Chrysophytes (*Isochrysis et Monochrysis)* est comparable il est, de plus, voisin du developpement sur milieu de Walne, les différents rendements étant compris entre 65 et 90 % du rendement témoin.

Pour *Tétraselmis*, le rendement correspond à 65 % du rendement témoin, de plus, la croissance est plus lente, mais le blooming se maintient de façon plus durable que chez les autres espèces. Cependant, il faut remarquer que la composition du milieu résiduaire n'est pas constante et permet parfois une prolifération cellulaire équivalente à celle du milieu de Walne. De plus, le poids sec de la matière organique produite est très élevé

Alors que la culture de *Tétraselmis* se fait sans grands problèmes, celle des Chrysophytes semble plus délicate ; aussi avons-nous ajouté un tampon pH (NaHCO3) pour maintenir le pH constant à 8,2 - 8.4.

2. **En grand volume (100 à 700 l)** nous avons cultivé ces mêmes espèces à l'extérieur du laboratoire, sous

des conditions naturelles de température et d'éclairement. Le développement de *Tetraselmis* se fait bien ; la concentration est de l'ordre de 700 à 800 cellules par ml alors qu'elle est de 1.300 cell./ml sur milieu synthétique. Il est beaucoup plus difficile d'obtenir les Chrysophytes qui sont rapidement envahies par des diatomées qui deviennent prédominantes.

En grand volume, la culture se faisait de façon semi-continue : après le démarrage de la culture obtenue à partir d'un petit volume, il était possible de prélever chaque jour environ 1/4 du milieu et de le compléter par 1/3 de milieu neuf, ce qui permettait une augmentation sensible du volume de culture. Pour *Tetraselmis*, la culture a ainsi pu être menée pendant plus de deux mois, mais pour les autres espèces, nous n'avons pas dépassé un volume de 300 litres, tout le milieu étant envahi par les diatomées.

Outre la prolifération de parasites, les détergents présents constituent un obstacle au développement, car sous l'effet de l'oxygénation, assurée par de l'air comprimé, il se forme un écran opaque à la lumière. Cependant la présence de détergents n'est pas un obstacle puisque des cultures en ballon de verre Pyrex, recevant la lumière latéralement, se sont développées normalement, alors que des concentrations de 40 à 200 mg/l de détergents anioniques se trouvaient dans le milieu

## V. CONCLUSION

La culture d'algues sur milieu résiduaire en grand volume est possible, mais la productivité est dans le rapport inverse du volume de culture. Pour obtenir le meilleur rendement, il est indispensable d'avoir un bon éclairement solaire, fournissant toutes les radiations necessaires à la photosynthèse. De plus l'analyse montre qu'en milieu pauvre en nitrates les algues produites se trouvent moins riches en protéines, bien que les éléments C, H et P se retrouvent dans de bonnes proportions ; seul le déficit en azote est important. Ce manque de protéines est préjudiciable à la croissance des animaux qui absorbent ces algues De plus, des ions se trouvent concentrés et peuvent aussi constituer un danger pour les animaux. L'étude de ces problèmes de toxicité par les ions et les bactéries est en cours

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BADOUR S.S., 1973. — Mass cultivation of algae. A future source of protein and energy. *Proc Int. biomass energy conf. Winnipeg Canada (1973). Biomes energy Inst. (S.D.) XVII-7, XVII-20.*

BERLAND B.R., BONIN D.J., MAESTRINI S.Y., POINTIER J.P. — Etude de la fertilité des eaux marines au moyen de tests biologiques effectués avec des cultures d'algues. II. Limitation nutritionnelle et viabilité de l'inoculum. *Intar. Rev. ges. Hydrobiol Disch (1973) b 58 (2) : 203-220.*

DOYLE R.W., POORE R.V., 1974. — Nutrient competition and diurnal synchrony in phytoplankton *J. exper. mar. Biol. Ecol. Netherland, 14 (3) : 201-210.*

DUNSTAN W.M., MENZEL D.W., 1974. — Continuous culture of natural populations of phytoplankton in dilute treated sewage effluent. *Limnol. Oceanogr. 16 (4) : 623-632*

DUNSTAN W.M. TENORE K.R., 1974. — Control of species composition in enriched mass cultures of natural phytoplankton populations. *J. Appl. Ecol. II (2) : 529-536*

EPPLEY R.W., DYER D.L., 1965. — Predicting production in light limited continuous culture of algae. *Appl. Microbiol., 13 : 633-637*

HARVEY H.W., 1926. — Nitrates in the sea *Mar. Biol Ass. U.K Journal V. 22 : 205-209.*

HUGGEN N J.E., 1975. — Development of a marine aquaculture research complex. *Aquaculture Netherland, 5 (2) : 135-150.*

MAC GARRY M.G., 1972 — The technology of mass algal culture from wastes. *Proc. 7th int. seaweed sympo : Sapporo Japon (1971) Tokyo Univ. Tokyo press (1972 : 401-404).*

OSWALD W.J., GOLUZKE C.G., 1967. — Harvesting and processing of waste grown micro algae. *D.F. Jackson (ED) Algae, Man and the environment (Syracuse)*

PANTER H.A., VINEY M., 1959 — Composition of a domestic sewage *J. Biochem. Microbiol. Technol. Eng. 1 : 143-162.*

RYTHER J.H., 1971. — Recycling human wastes to enhance food production from the sea *Environmental letters 2 : 79-87*

TENORE K.R., MASON C.B., CHESNEY E.J. jr., 1974. — Polyspecies aquaculture systems. The detritical trophic level. *J. Mar. Res., 32 (3) : 425-432*

UKELES R., 1961. — The effect of temperature on the growth and survival of several marine algal species. *Biol. Bull. mar. biol. Lab. Woods hole 120 : 255-264.*

WALNE P.R., 1970. — Studies on the food value of nineteen genera of algae to juvenile bivalves of the genera Ostrea, *Crassostrea, Mercenaria and Mytilus. Minist. Agric. Fish food ; Fish investigation 2 (G.B.) 26 (5) : V 62.*

WEBB D.A., 1939 — The sodium and potassium content of sea water. *Journ. Exp Biol., 16 . 178-184.*

# Importance des bactéries chez les mollusques bivalves

*par Yvan MARTIN*

Fondation Scientifique Ricard. Observatoire de la mer, Ile des Embiez, Le Brusc - 83140 Six-Fours-les-Plages (Var - France).

## RÉSUMÉ

L'importance des bactéries dans la vie des mollusques bivalves est un phénomène soupçonné depuis longtemps, bien que mal défini. Si le rôle pathogène de certaines souches bactériennes a été nettement établi dans certains cas, la part qui revient aux bactéries dans l'alimentation des bivalves est beaucoup moins nette et parfois controversée, l'expérimentation montrant des résultats contradictoires

L'auteur, grâce à des exemples empruntés à la bibliographie ou à ses propres travaux, apporte quelques éléments confirmant la réalité de l'importance des bactéries dans la nutrition des bivalves

⁂

Les qualités alimentaires des germes semblent dépendre, non seulement de la quantité de cellules fournies mais également de l'espèce bactérienne et des modalités d'utilisation. L'emploi de certaines souches données vivantes, associées à des algues, améliore la croissance des larves de moules en élevages expérimentaux.

Par contre, celui de germes morts, en augmentant la pollution du milieu, semble favoriser l'apparition d'infections bactériennes exogènes.

L'utilisation de bactéries comme unique source de nourriture pour des larves en croissance active pose le problème de leur valeur alimentaire dans ces conditions et celui des concentrations utilisables.

Des expériences de grazing réalisées en bassins d'élevage avec des animaux adultes montre que les bactéries sont retenues. L'importance des biomasses bactériennes dans de tels milieux laisse présager un rôle non negligeable des bactéries dans l'alimentation des adultes

Enfin, une analyse ponctuelle de la structure des microflores bactériennes présentes dans l'eau et le tube digestif des moules suggère l'existence de microflores spécifiques bien différenciées à ce niveau

Ceci pose le problème de la présence de microflores commensales et de leurs participations éventuelles aux activites digestives des mollusques bivalves.

## SUMMARY

The importance of Bacteria in the life of the Bivalves Molluscs is a phenomenon surmised since a long time, but not clearly defined.

If the pathogenic bill of some bacterial strains is well established in some cases, the share that reverts to the Bacteria in Bivalves feeding, is less clean and sometimes debated, the experimentation showing contradiction in results. The author, with examples taken from Bibliography or his own works, give some elements that corroborate the reality of Bacteria importance in Bivalves feeding. Alimentary qualities of the germs can be depend not only of formed cells number, but also of Bacterial species and utilization conditions. Use of some living strains associated with algaes, improve mussels larvae increasing in experimental breeding On the otherhand, use of dead germ, by increasing of the medium pollution, seems to favour the apparition of exogenous Bacterial infestations.

Use of Bacteria as only source of food for larvaes that are increasing actively, claims the problem of their alimentary quality in these conditions, and the problem of utilisable concentrations.

Experiments of grazing carried out in breeding tanks with adult animals show that Bacteria are keeped back. The importance of Bacterial biomasses in such media can be allow to augur the part of Bacteria in adults feeding. Lastly, a punctual analysis of the structures of the Bacterial microflora from the water and alimentary tract of mussels, suggest the existence of specific microflora well different at this level

This claims the problem of the presence of commensal microflora and their possible participation to the digestive activities of the Bivalves Molluscs.

Le phénomène de la concentration des bactéries par les bivalves est connu et l'on a pu estimer que celles-ci pouvaient représenter le 1/4 ou le 1/3 du poids sec des moules dans certains cas (Zobell, 1946). Toutefois, les relations qui unissent les populations bactérienne et celles des bivalves ne sont pas simples et c'est ce problème que nous tenterons d'aborder ici

Pendant la vie larvaire, le rôle pathogène de certaines souches bactériennes a été démontré : le développement de celles-ci est l'une des principales causes d'échec dans les tentatives d'élevage de larves. Une excellente revue de ces problèmes a été faite par Prieur (1975) lors de notre dernier colloque. Aussi nous ne nous attarderons pas sur cet aspect. Remarquons simplement que des bactéries du genre *Vibrio* figurent parmi les agents pathogènes, telle l'espèce *Vibrio anguillarum* qui se montre extrêmement virulente. Nous avons isolé une souche de cette espece et l'expérience nous a montré que si celle-ci est mortelle pour des larves de moules, les adultes, par contre, tolèrent de fortes concentrations de ces germes sans en être affectés. Tubiash et col. (1965) et Tubiash (1971) ont fait des constatations ana-

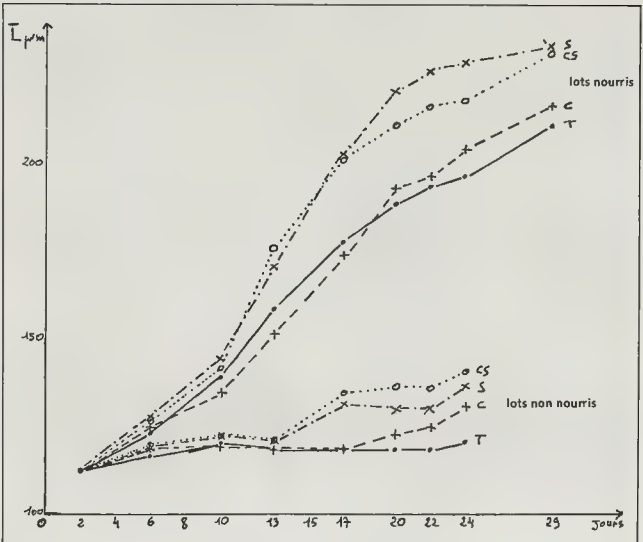



Fig. 1. — Evolution de la longueur moyenne des larves

logues. Pourtant, des vibrioses surviennent dans la nature et causent des mortalités importantes dans les bancs de l'huître pacifique notamment. Grischkowsky et Liston (1973) ont souligné le rôle de pathogènes potentiels pouvant être tenu par diverses souches de Vibrio dans ces épizooties. Nous reviendrons sur ce point important.

Si le rôle pathogène de certaines bactéries est une réalité, plusieurs auteurs ont souligné leur importance dans l'alimentation des organismes filtreurs. Toutefois, chez les larves des bivalves, ce rôle soupçonné n'a pas été nettement établi. Les travaux de Davis (1950-1953) ou plus récemment de Masson (1975) n'ont pas mis en évidence une bonne assimilation des bactéries par les larves, certaines souches étant même toxiques. Pourtant certains auteurs ont pu relier la croissance constatée des larves à une augmentation de la biomasse bactérienne. Hidu et Tubiash (1963) ont montré que l'administration de combistrep dans les élevages amenait une amélioration de la croissance des larves par suite de la prolifération de certaines souches bactériennes, favorisée par la présence de l'antibiotique.

Nous avons pu mettre en évidence le même phénomène avec de la Streptomycine ou un mélange de Chloramphénicol - Streptomycine. Avec ces antibiotiques, à certaines concentrations, la croissance des larves est plus rapide que dans les lots soumis au Chloramphénicol seul ou les lots témoins (Martin et Vicente, 1975 a et b) et le phénomène se présente également avec des lots subissant le même traitement mais non nourris (fig 1) Cela avait déjà été observé par Masson (1975).

Or, si l'on étudie parallèlement l'évolution du nombre de germes dans les divers lots, on constate que la biomasse bactérienne est toujours plus élevée dans les lots recevant les antibiotiques que dans les lots témoins (fig. 2).

Il semble donc que l'on puisse effectivement relier la croissance des larves à la biomasse bactérienne disponible.

D'autre part, si la quantité de germes est un facteur important, la qualité des bactéries présentes l'est aussi.

Nous avons étudié l'action de 44 souches bactériennes sur la mortalité et la croissance de larves de moules (Martin, à paraître a). On peut distinguer 3 groupes de souches selon leur action sur la mortalité :

— souches indifférentes,
— souches défavorables qui provoquent une très lente élévation du taux de mortalité au fur et à mesure des réinoculations,
— souches pathogènes, mortelles, d'action rapide.

Il en est de même sur le plan de la croissance et l'on trouve des souches défavorables, indifférentes ou

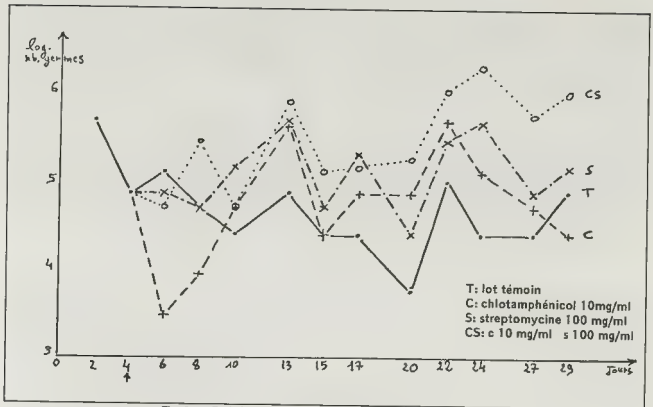



**Fig. 2. — Evolution du nombre de germes dans les divers lots**

favorables. Il semble donc que pour une même concentration de germes inoculés, l'action des bactéries diffère en fonction de l'espèce considérée.

Nous avons réalisé d'autres expériences afin de déterminer les effets à long terme de l'inoculation répétée dans les élevages de larves, de certaines souches jugées favorables (Martin, Mengus, à paraître). Bien que les résultats présentent parfois des différences, d'une expérience à une autre, on peut en retenir les points suivants :

● L'utilisation des bactéries est indéniable. Les expériences de grazing réalisées montrent une diminution d'un facteur 10 du nombre de germes inoculés, après 48 heures d'incubation dans les lots comportant des larves, alors que le même inoculm ne varie pas dans les lots témoins, dépourvus de larves.

● Des germes vivants, apportés en complément à une alimentation algale classique favorisent la croissance des larves (Martin, à paraître b). La figure 3 présente l'effet de l'association de certaines souches bactériennes (Bacillus, Pseudomonas) avec une alimentation algale classique. Après un mois d'élevage, les lots soumis aux apports bactériens présentent une taille de 20 % supérieure à celle des lots témoins pour une mortalité identique, très faible.

● Par contre, l'apport de bactéries mortes est néfaste : les germes morts augmentent la pollution organique du milieu, favorisant ainsi le développement de souches pouvant être pathogènes ou celui d'une microflore banale à des concentrations beaucoup trop élevées.

● Enfin, l'utilisation de bactéries seules pose des problèmes, les concentrations bactériennes élevées sont toxiques par suite de leurs activités métaboliques propres et favorisent un mauvais état physiologique des larves ; avec des concentrations faibles, la croissance observée est lente mais on obtient de bons résultats sur le plan mortalité, celle-ci restant très faible.

Il apparaît donc que les bactéries peuvent jouer un rôle non négligeable dans l'alimentation des larves.

Chez les adultes, l'alimentation bactérienne des moules a été mise en évidence par Zobell et Landon (1937) : les animaux peuvent être nourris exclusivement à l'aide de bactéries pendant plusieurs mois. Chakroun (1964) a fait des expériences analogues. Toutefois, il ne lui semble pas possible que la couverture des besoins nutritionnels puisse être assurée par les bactéries et elle attribue ces résultats à la grande résistance des moules

Nous avons tenté d'estimer la capture du phytoplancton et du bactérioplanction par des palourdes *(Venerupis decussata)* dans des bassins d'élevage selon une méthode préconisée par Sorokin et Kadota (1972). A cet effet, nous avons suivi l'évolution du phytoplancton par le taux de chlorophylle A et celle de la microflore bactérienne en présence ou en l'absence d'animaux, dans des récipients fermés, pendant un temps donné d'incubation in situ, 3 lots comportant des palourdes et 3 lots témoins n'en comprenant pas. Après 5 heures d'incubation, les résultats ont été les suivants :

| | Moyenne Lots T | Moyenne Lots P | d (T-P) | Facteur de diminution | Pourcentage disparition | Biomasse disparue |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Chloro A .. | 6 µg/l | 0,4 µg/l | 5,6 µg/l | 14 | 92 % | $2\,800 \times 10^{-6}$ g/l |
| N.G. ..... | 400.000 bact/ml | 60.000 bact/ml | 340.000 bact/ml | 7 | 85 % | $170 \times 10^{-6}$ g/l |

On constate donc une diminution d'un facteur 14 de la chlorophylle présente et d'un facteur 7 du nombre de germes avec un pourcentage de disparition respectif de 92 à 85 %. La part de biomasse planctonique disparue revenant aux bactéries est 16,5 fois plus faible que celle revenant au phytoplancton. Cela corrobore les observations faites sur les larves qui donnent à penser que les bactéries seules représentent une nourriture insuffisante

Des études plus fines seraient nécessaires pour nous permettre de conclure quant à l'utilisation effective des bactéries ainsi retenues et de la part qui leur revient dans la nutrition des palourdes. Cela dépend vraisemblablement de la quantité de bactéries présentes et dans de tels milieux clos, elle est plus importante qu'en zone

Dans ce domaine, les principaux travaux portant sur la microflore bactérienne des bivalves ont été des investigations d'hygiénistes En effet, celles-ci sont devenues routinières, depuis que l'on a pu relier le développement de maladies infectieuses, bactériennes ou virales, à la consommation de coquillages pollués (cf Brisou 1974).

Par contre, l'étude de l'existence de microflores commensales spécifiques et celle de leurs participations éventuelles aux activités digestives des individus a été peu abordée jusqu'ici. Colwell (1962) a montré que la microflore du tube digestif de divers animaux marins présente une nette dominance de Vibrios (gut Group Vibrio) et dans la même année, Brisou a isolé 8 espèces de Vibrio à partir de la moule *Mytilus galloprovincialis*.

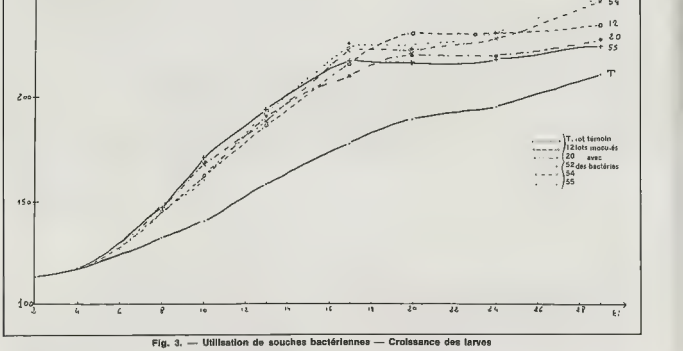



**Fig. 3. — Utilisation de souches bactériennes — Croissance des larves**

néritique, mais également de la qualité des germes, comme nous l'avons vu pour les larves et comme l'ont montré Zobell et Feltham (1938) chez *Mytilus californianus*.

Il est probable que plusieurs facteurs jouent dans ces phénomènes : l'aptitude des germes à sécréter des métabolites toxiques ou des toxines, l'aptitude à former spontanément des colonies au sein du plancton (Sorokin et al. 1970 ont montré que 30 à 40 % du bacterioplancton formaient spontanément des colonies de diamètre supérieur à 4 microns et sous cette forme était aussi intensément capturé par les filtreurs que le phytoplancton) qui est une propriété spécifique semble-t-il (Seki, 1972) et la digestibilité spécifique des germes Sorokin et al. (1970) estiment en effet que l'assimilabilité des bactéries est plus faible que celle du phytoplancton (respectivement de 35 à 68 % contre 75 à 80 %) et d'autre part Chakroun a montré que les germes ne sont pas tous également sensibles aux enzymes digestifs du bivalve. Nous verrons que certaines bactéries sont adaptées au biotope particulier du tube digestif

Plus récemment, Chakroun (1964) a montré que les moules concentrent la microflore du milieu dans laquelle elles baignent et qu'il y a un accroissement net du nombre de germes viables depuis le manteau jusqu'à la terminaison du tube digestif, ce dernier présentant la flore la plus riche en germes protéolytiques, avec une dominance nette des genres *Achromobacter* et *Vibrio*.

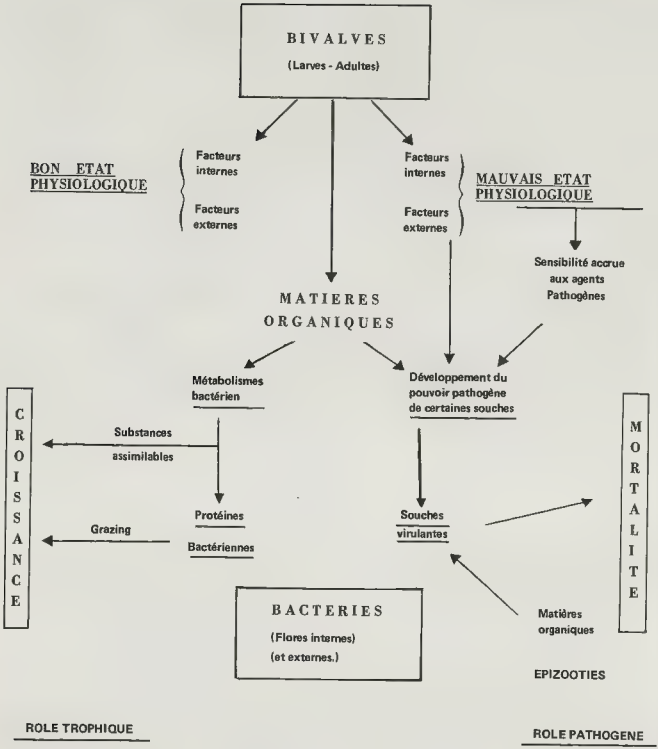
Nous avons analysé les populations bactériennes d'un prélèvement ponctuel effectué dans l'eau et dans l'intestin de moules *Mytilus galloprovincialis* d'une moulière naturelle située à l'ouest des Embiez. Les 30 souches bactériennes étudiées à partir de ces prélèvements ont été isolées sur une grille standard (M. Bianchi, 1976) et décrites selon une batterie de tests morphologiques, biochimiques ou culturaux, analogues à ceux utilisés dans un travail antérieur (Martin : à paraître c).

Les populations bactériennes rencontrées diffèrent quantitativement et qualitativement.

On trouve seulement 10.000 g/ml dans l'eau, alors qu'il y en 250 fois plus/g dans l'intestin.

Le tableau suivant montre les caractères des bactéries des deux populations. Les différences sont nettes.

CARACTERES DES BACTERIES ISOLEES histogrammes de fréquences exprimées en pourcentage




## RELATIONS BACTERIES-BIVALVES

93,4 % des germes rencontrés dans l'intestin sont des anaérobies facultatifs du type vibrioïde (M. Bianchi, 1976), alors que ces bactéries sont rares ou inexistantes dans l'eau.

Nous retrouvons là les résultats de Colwell (1962) et de Chakroun (1964). Bianchi (1976) a fait des constatations analogues dans le tube digestif du Bar *(Dicentrachus labrax)*. Le problème de l'existence d'une microflore commensale est donc posé. Les vibrions trouvent là des conditions propices à leur développement : absence de compétition avec d'autres germes non aérobies facultatifs ; milieu très riche en matières organiques favorisant les bactéries auxotrophes D'ailleurs, une étude des besoins nutritionnels et du pouvoir de synthèse de ces souches (selon une méthode identique à celle de Berland et col 1976) nous a montré que 64 % des germes de l'intestin necessitaient des vitamines pour se développer contre 38 % pour les germes de l'eau.

D'autre part, ces souches manifestent des potentialités très importantes de dégradation de la matière organique et surtout des grosses molécules organiques, beaucoup plus conséquentes que celles des germes prélevés dans l eau comme le montre le tableau suivant :

| FONCTION | EAU | | INTESTIN | |
|---|---|---|---|---|
| | % de souches | Nbre de germes/ml | % de souches | Nbre de germes par g/corresp[1] |
| Protéolyse | 61,5 | 6.150 | 100,0 | 2.500.000 |
| Dase | 76,9 | 7.690 | 100,0 | 2.500.000 |
| Lipases | 92,3 | 9 230 | 100,0 | 2.500.000 |
| Amylase | 15,4 | 1.540 | 100,0 | 2.500.000 |
| Acidifications | | | | |
| Glucose | 23,1 | 2.310 | 100,0 | 2 500 000 |
| Lactose | 7,7 | 770 | 20,0 | 500.000 |
| Maltose | 15,4 | 1.540 | 86,7 | 2.167.000 |
| Xylose | 0,0 | 0 | 6,7 | 167.500 |
| Saccharose | 23,1 | 2.310 | 73,3 | 1.832.000 |
| Levulose | 23,1 | 2.310 | 86,7 | 2.167.500 |
| Mannitol | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 2 000 000 |

Ce tableau nécessite peu de commentaire : le pourcentage de souches réalisant les différentes fonctions et le nombre de germes correspondant capables de les réaliser sont nettement plus élevés dans l'intestin, aussi bien pour la protéolyse que pour la dégradation des lipides, de l'amidon ou des autres glucides.

Or, la dégradation des grosses molécules organiques par ces souches se fait par l'intermédiaire d'exoenzymes qui sont rejetés en grande quantité dans le milieu extérieur (protéases, lipases, Dnase, amylase, .).

De plus, les germes de l'intestin ont une activité métabolique très importante et dégradent beaucoup plus rapidement les substrats que les germes prélevés dans l eau.

On peut donc s'interroger sur la participation éventuelle de ces bactéries aux activités digestives du mollusque. Mathers (1973 a, 1973 b) a montré que l'intestin des bivalves avait un rôle digestif aussi bien qu'absorbant et contenait de nombreux enzymes extra-cellulaires (Protéases, estérases, glucides-hydrolases, amylases).

Ce problème mérite donc quelque attention dans l'avenir. Un autre point doit être également considéré. L'existence de Vibrions dans l'intestin des moules est prouvee Or, dans notre prélèvement 6 souches présentant des caractères phénotypiques analogues à ceux de *Vibrio anguillarum*, espèce que nous savons pathogène pour les larves ou les adultes dans certaines conditions. Cela peut représenter des risques non négligeables dans les élevages de larves si les bactéries sont émises en même temps que les gamètes ou les fécès, ce qui est certainement le cas. Toutefois, il semble que des conditions particulières doivent être réunies pour que le pouvoir pathogène de ces souches puisse se manifester. Il doit en être de même chez les adultes d'autant que ces germes semblent faire partie de leur microflore normale. Par exemple, Grischkowsky et Liston (1974) ont montré le rôle d'une élévation de la température dans l'appantion des vibrioses

Ainsi, les différents aspects des relations qui unissent les populations bactériennes et celles des bivalves peuvent être résumés dans le schéma suivant. Les bivalves fournissent de la matière organique nécessaire au développement des bactéries, qui en contre partie sont directement utilisées par ceux-ci au même titre que le bactérioplancton ou interviennent dans la transformation des grosses molécules organiques en substances assimilables, contribuant ainsi de façon indirecte à leur alimentation. Dans certaines conditions quelques souches peuvent manifester leur pouvoir pathogène. Dans ce cas, les modalités qui permettent le passage de l'état de souches commensales inoffensives à celui de pathogènes virulents nous sont inconnues à l'heure actuelle Il est raisonnable de penser qu'un ensemble de facteurs d'origine interne et externe en sont responsables. Dans ce domaine également, l'étude des relations bactéries-bivalves dans différentes conditions devrait nous apporter des renseignements utiles

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BERLAND B.R., BONIN D.J., DURBEC J.P., MAESTRINI S.Y., 1975 — Bactéries Hétérotrophes aérobies prélevées devant le delta du Rhône. II. Détermination des ex-gences nutritionnelles. Comparaison avec des souches provenant d'autres biotopes *Hydrologia*, 1976, *49*, 2 : 123-128.

BIANCHI M.G., 1976. — Etude taxonomique et distribution écologique des bactéries vibrioïdes du milieu marin. Thèse doctorat d'Etat, sciences naturelles, Univ. Aix-Marseille II, 126 pp

BRISOU J., TYSSET C., MAILLOUX M. et ESPINASSE S., 1962. — Recherches sur les vibrions marins. A propos de 44 souches isolées de moules (*Mytilus galloprovincialis*) du littoral algérois. Bull. Soc. Path. Exot., 55 : 269 - 275

BRISOU J., 1974. — Infections et intoxications transmises par les coquillages. Ouest Médical, *27*, 14 : 1321-1329

CHAKROUN F., 1964 — Contribution à l'étude de la microflore bactérienne de la Moule *Mytilus galloprovincialis* Lmk. Thèse doct. océanogr., Fac. Sc. Paris.

COLWELL R.R., 1961 — Commensal bacteria of marine animals. A study of their distribution, physiology and taxonomy. Ph. D. Thesis Univ. of Washington. Seattle. 198 p

DAVIS H.C., 1960. — On food requirements of larvae of *Ostrea virginica*. *Anat. Rec.*, 108 : 132 - 133

GRISCHKOWSKY R.S., LISTON J., 1973. — Bacterial Pathogenicity in Laboratory-induced mortality of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*, Thunberg). *Proc. Nat. Shellfish Ass.*, 64 : 82-91.

# Relations entre croissance de bivalves et phytoplancton en lagune et bassin fermé

*par Patrick LELONG et Alain RIVA*

Laboratoire de Biologie marine, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme - 13013 Marseille, et Fondation scientifique Ricard, Observatoire de la mer, Ile des Embiez - 83140 Six-Fours-les-Plages (France)

Ce travail a été réalisé avec l'aide financière du Centre national pour l'exploitation des océans, dans le cadre du programme Ecotron

## RÉSUMÉ

Les relations entre la croissance de bivalves et le phytoplancton ont été étudiées en lagune et en milieu fermé, milieu soumis aux conditions climatiques naturelles.

Dans la lagune le phytoplancton, essentiellement composé de Diatomées (300.000 cellules/litre) et de petites cellules inférieures à 5 µ 18 × $10^6$ par litre), est peu abondant. Malgré des conditions climatiques plus stables et moins rigoureuses, la mortalité des bivalves y est très importante et la croissance très faible.

Dans le bassin, la masse d'eau étant réduite, les facteurs climatiques vont avoir un rôle prépondérant. Le phytoplancton y est beaucoup plus important :

| | |
|---|---|
| Petites cellules inférieures à 5 µ | : 400 × $10^6$/l |
| Dinoflagellées | : 1,5 × $10^6$/l, |
| Diatomées | : 4,5 × $10^6$/l, |
| Coccolithophorides | : 45 × $10^6$/l. |

La croissance des deux espèces de bivalves implantées est plus significative : pour *Cerastoderma glaucum*, elle est quasi continue alors que pour *Venerupis semidecussata*, elle accuse un palier en janvier-février conditionné par la température (4° C) et la salinité (50 ‰) en même temps qu'une chute du phytoplancton et un ralentissement en avril-mai, lors d'une autre baisse du phytoplancton.

## SUMMARY

The relationships between growth of bivalves and phytoplankton were studied in lagoon and in closed environment, subjected to natural climatic conditions.

In the lagoon, the phytoplankton, composed essentially of Diatoms (300.000 cells/litre) and small cells than 5 µ (18 × $10^6$ per litre) is little abundant. Despite more stable and less severe climatic conditions, the morality of bivalves is very important and the growth very feeble

In the basin, the climatic factors have, due to reduced water mass, a leading role The phytoplankton is much more important :

| | |
|---|---|
| Small cells inferiors to 5 µ | : 400 × $10^6$/l |
| Diatoms | : 4,5 × $10^6$/l. |
| Dinoflagellates | : 1,5 × $10^6$/l. |
| Coccolithophorids | : 45 × $10^6$/l, |

The growth of two implanted bivalves species is more significant: it is quasi continuous for *Cerastoderma glaucum* while it levels in january-february controlled by the temperature (4° C) and salinity (50 ‰) as well as a drop in phytoplankton and a slowdown in april-may, following another drop in phytoplankton

Des essais sur la croissance des mollusques bivalves en milieu enrichi par apport régulier d'algues monocellulaires obtenues par des "blooms" successifs (d'après les travaux de Dunstan et Menzel, 1971), ont été entrepris notamment aux Etats-Unis à Woods-Hole Institut (Ryther 1975)

Avant de réaliser une installation moins importante mais qui permet une étude plus ou moins similaire, il nous a paru utile de suivre et de comparer la croissance de deux espèces de bivalves implantées dans le milieu assez particulier représenté par la lagune du Brusc (côte varoise méditerranéenne, description par Vicente et al., 1975) et dans un bassin situé dans d'anciennes salines à proximité de la lagune.

Deux espèces particulièrement résistantes aux conditions du milieu ; *Venerupis semidecussata* (provenance Satmar, 50760 Barfleur) et *Cerastoderma glaucum* (récolté localement) ont été choisis pour cette étude qui portera sur six mois, de décembre 1975 à juin 1976

Différents parametres ont été suivis ou mesurés pendant cette période :

- *les facteurs climatiques : températures, précipitations, vents, ensoleillement,* fournis par la station météorologique de *La Mitre*, à Toulon.
- *les facteurs hydrologiques : température* et *salinité.*
- *les sels minéraux :* phosphates, nitrates, nitrites. silices, selon les méthodes de Strickland et Parsons (1972).
- *le phytoplancton par deux méthodes :*
  - analyse spectrophotométrique de la concentration en *chlorophylle a,* par la méthode du SCOR - U.N.E.S.C.O. (anonyme 1966),
  - analyse quantitative et qualitative des différentes espèces par la méthode de sédimentation d'*Utermöhl* (Utermöhl, 1958).

Ces différentes mesures ont été faites une fois par semaine, toujours à la même heure pour essayer de limiter les variations journalières.

Pour les bivalves, nous avons calculé la mortalité et mesuré la croissance linéaire sur tous les individus lorsque c'était possible et sur un échantillon d'au moins 100 coquillages dans le cas contraire. Les croissances pondérales, poids sec, poids frais et poids de la coquille

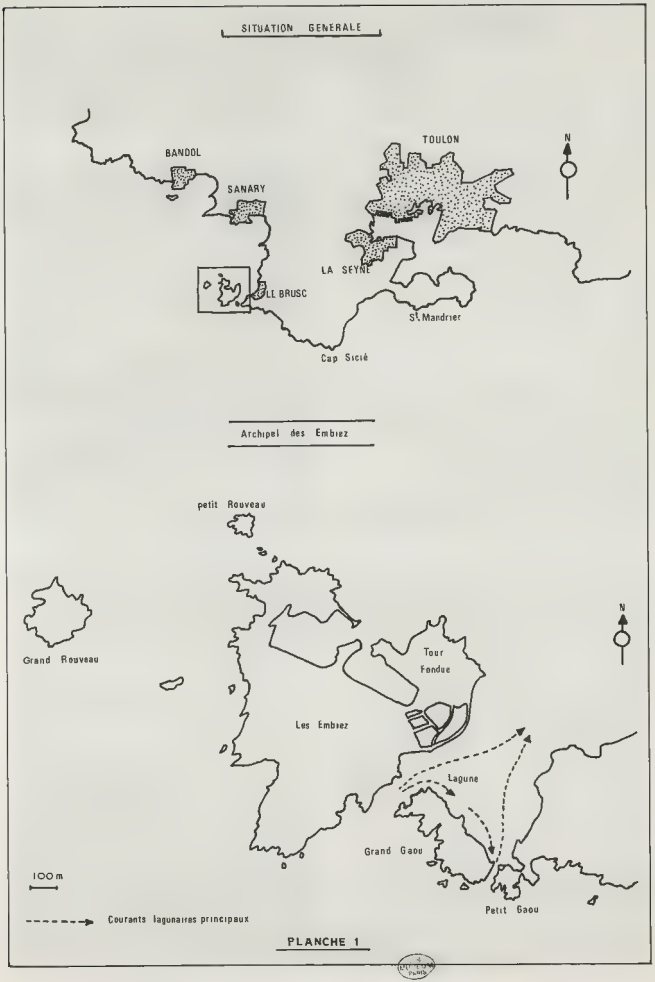

SITUATION GENERALE
BANDOL
SANARY
TOULON
N
LA SEYNE
LE BRUSC
St Mandrier
Cap Sicié
Archipel des Embiez
petit Rouveau
Grand Rouveau
Tour
Fondue
Les Embiez
Lagune
Grand Gaou
Petit Gaou
100 m
Courants lagunaires principaux

PLANCHE 1

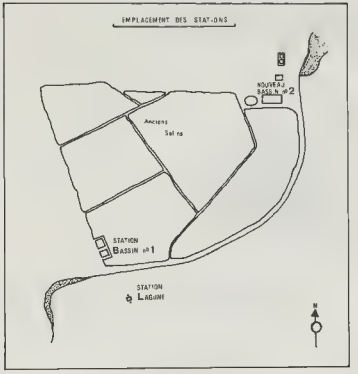



PLANCHE 1 bis

ont été faites, ainsi que les teneurs en glycogène, sur des échantillons de 30 à 60 individus.

## I RESULTATS DANS LA LAGUNE

A cause de la faible hauteur d'eau, la température va suivre assez fidèlement la courbe des températures extérieures. Nous distinguerons deux périodes : la première entre décembre et fin mars où la température oscille entre 9 et 14° C ; puis une remontée graduelle jusqu'à 29° C au mois de juin

La salinité reste constante, entre 38 et 41 ‰ accusant de légères baisses lors des fortes précipitations.

Les sels minéraux se sont révélés être en très faible quantité : 0,25 µ at. g de phosphate et 0,16 µ at. g de nitrate par litre au maximum. Les variations sont irrégulières et probablement liées aux différents systèmes de courant régissant cette partie de la lagune. La pauvreté en sels minéraux peut s'expliquer par la très grande densité de phanérogames marines (Posidonies, Zostères et Cymodocées) qui peuplent la lagune.

Cette pauvreté va avoir une répercution sur le phytoplancton : en effet, les teneurs en chlorophylle a sont généralement inférieures à 1 µg/l, et, à part de petites cellules inférieures à 5 µ qui atteignent dix-huit millions de cellules par litre, le phytoplancton est essentiellement composé de Diatomées de type benthique ne dépassant jamais 400.000 cellules par litre. Comme pour les sels minéraux, les variations et les évolutions des différentes espèces sont irrégulières et très brusques. Là aussi les mouvements des masses d'eaux : courants liés aux vents et en particulier la marée qui peut atteindre une amplitude de 60 cm en sont probablement la cause.

Les populations des deux espèces de bivalves vont avoir un comportement assez semblable : la mortalité augmente régulièrement jusqu'à 31 % pour *Venerupis semidecussata* et beaucoup plus vite chez *Cerastoderma glaucum* pour atteindre 100 % en mai-juin.

Les croissances linéaires ne sont significatives qu'entre mars et avril pour la première espèce et janvier-février pour la seconde. Les teneurs respectives en glycogène présentent un accroissement durant ces périodes ; quant aux croissances pondérales, elles restent stables pour les deux espèces.

Malgré des conditions hydrologiques favorables, les résultats ne sont pas satisfaisants. Plusieurs raisons peuvent être invoquées : grande pauvreté en phytoplancton, présence de très nombreuses particules en suspension (débris de phanérogames, grains de sable...) pouvant gêner la filtration. L'action des prédateurs (crabes, pagures...) n'est également pas à négliger.

## II RESULTATS DANS LE BASSIN

Les dimensions du bassin sont de quinze mètres sur quatorze mètres, pour une profondeur maximale de 1,50 mètre. Lors d'une première mise en eau, sur le sédiment même, la salinité atteignait 160 ‰ et après plus d'une semaine de rinçages successifs à l'eau douce, elle n'avait pratiquement pas varié. L'utilisation d'une bâche en plastique employée dans l'agriculture a été nécessaire pour isoler l'eau du sédiment sous-jacent. Ceci s'est révélé efficace vis-à-vis de la sursaiure. Le remplissage du bassin avec l'eau de la lagune a été fait fin octobre et nous avons laissé évoluer le système en fonction des différents facteurs climatiques, qui ont eu un rôle très important à cause du faible volume intéressé (200 m3).

Les bivalves ont été disposés sur des treillis ("lanternes japonaises") d'un quart de mètre carré suspendus cinquante centimètres sous la surface, sur des cordes tendues au travers du bassin. Cette disposition est différente de celle adoptée pour la lagune (paniers ajourés, l'installation de lanternes étant délicate)

La température de l'eau va suivre les facteurs climatiques : les courbes des températures extérieures et de l'eau sont superposables. Les variations sont ici plus importantes que pour la lagune, le volant d'eau étant plus faible. Novembre, décembre, janvier sont froids (4 à 10° C), puis la température remonte graduellement jusqu'à 28° C fin juin avec quelques petites pointes froides correspondant aux jours de fort mistral.

La salinité a subi de très grandes variations.

A la fin du mois de décembre une élévation de l'eau dans les salines a mis ces dernières en communication avec le bassin, ce qui a favorisé l'augmentation de la salinité (30 à 56 ‰).

Cette salinité est tombée brutalement à la mi-février aux moments des fortes pluies (38 ‰).

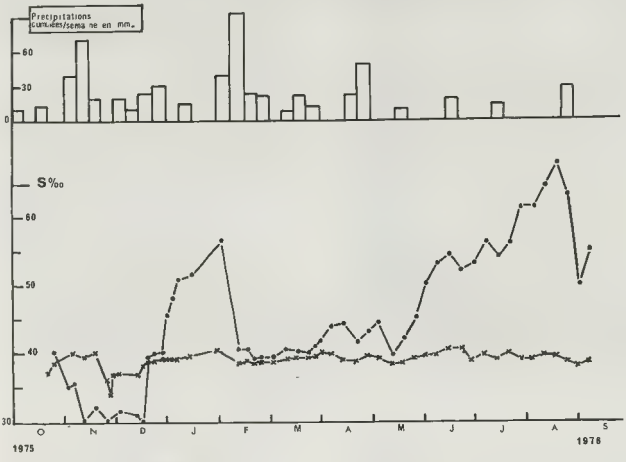
Puis elle a varié entre 38 et 44 ‰ en fonction de l'insolation et des précipitations pour remonter jusqu'à 54 ‰ en mai et juin.

Les sels minéraux sont présents en grande quantité au départ (1,2 µ at. g de phosphate et 6 µ at. g de nitrate par litre) puis s'amenuisent régulièrement de fin février à juin.

Les teneurs en chlorophylle a sont beaucoup plus importantes dans la lagune. La phase ascendante de décembre à janvier porte les valeurs de 0,5 à 20 µg/l. Ensuite, comme pour les sels minéraux, la courbe décroît et ceci jusqu'en juin à partir de février au moment des fortes pluies et de la baisse brutale de la salinité.

Le groupe le plus important du phytoplancton est constitué par de très petites cellules (chlorophycées et flagellés divers) atteignant quatre cents millions de cellules par litre. Les coccolithophorides forment le deuxième groupe : deux petites espèces (7-8 µ) vont se succéder : la première de décembre à mi-février avec un maximum de 45 millions de cellules par litre le 12 janvier et la deuxième de février à mai, beaucoup moins importante (2 millions et demi de cellules par litre). Les dinoflagellés (Gymnodiniens surtout) atteignent leur maximum en février avec un million et demi de cellules par litre. Les Diatomées, représentées par de petites navicules et

## SALINITE ET TEMPERATURES




LAGUNE

BASSIN

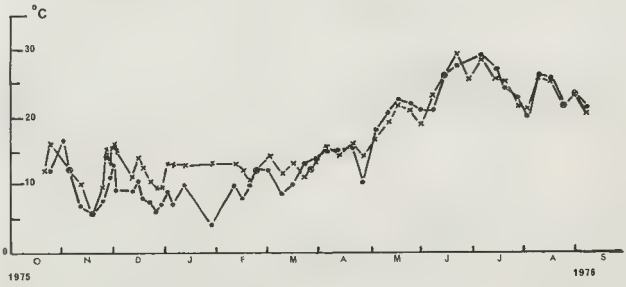
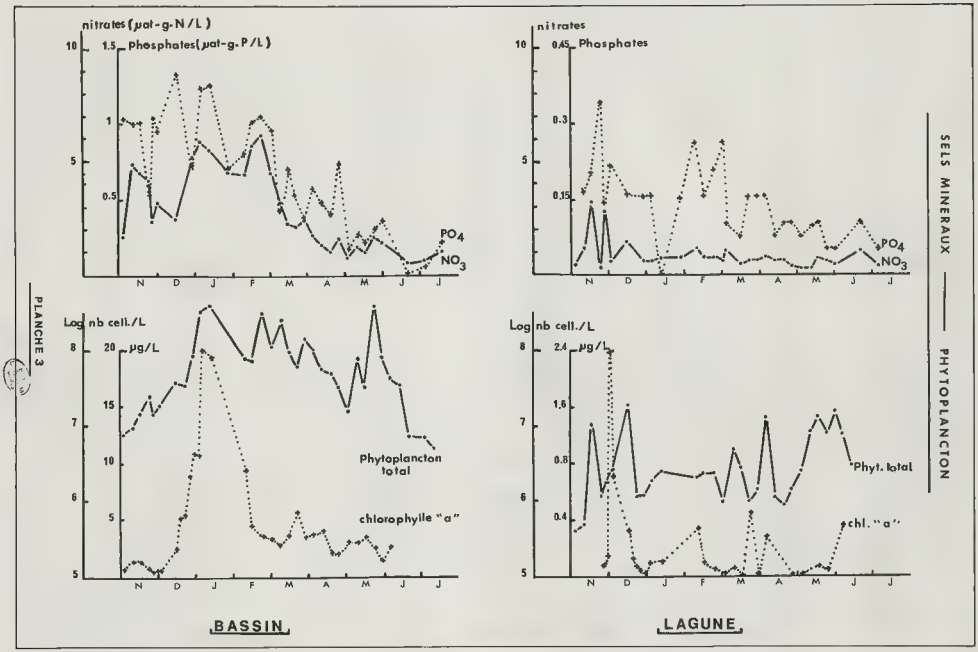



PLANCHE 2

PLANCHE 3


nitrates (µat-g-N/L)
Phosphates (µat-g-P/L)
PO4
NO3
N D J F M A M J J
nitrates
Phosphates
Log nb cell./L
µg/L
Phytoplancton total
chlorophylle "a"
Phyt. total
chl. "a"
BASSIN
LAGUNE
SELS MINERAUX —— PHYTOPLANCTON

*Nitzschia* essentiellement, sont en général moins importantes que les dinoflagellés sauf un pic de 4,5 millions de cellules par litre, le 15 décembre.

Le parallèle entre le taux de chlorophylle a et le nombre total de cellules phytoplanctoniques n'est pas très bon sauf pour la période ascendante. Ceci est dû au fait que nous n'avons tenu compte ici que des numérations totales et non pas des volumes. Dans la deuxième partie de la courbe, si le phytoplancton total ne suit pas la courbe de la chlorophylle a c'est parce que le nombre de petites cellules est important alors que leur volume est faible. En fait, pendant cette période, les Dinoflagellés diminuent et dans la population des Diatomées, les grandes espèces sont progressivement remplacées par les plus petites.

Concernant les espèces :

● *Venerupis semidecussata*, la mortalité enregistrée est très faible. 1 à 3 %. La croissance linéaire est significative pour tous les prélèvements sauf en janvier-février. Si nous faisons un taux de croissance relative :

$$K = \frac{\log Li - \log Lo}{Ti - To}$$ nous obtenons une courbe en W très étalée : la première baisse, en janvier-février est due aux conditions hydrologiques rigoureuses (4° C, 56 ‰), la seconde en avril, semble imputable à des facteurs trophiques (baisse de la quantité de phytoplancton), plutôt qu'aux conditions hydrologiques plus favorables à cette période.

Nous retrouvons la crise de janvier-février dans les mesures pondérales : poids frais, poids sec et poids de coquille. La courbe de glycogène semble indiquer que les animaux ont puisé dans leurs réserves pendant ces "périodes critiques".

● *Cerastoderma glaucum*, la mortalité est également très faible (0 à 2 %) ; la croissance linéaire ne marque pas d'arrêt et est significative à tous les prélèvements. Cependant le taux de croissance relative indique une forte augmentation en janvier-février, plus faible de février à mai et remonte ensuite de mai à juin.

Le poids de coquille suit la courbe de croissance linéaire, alors que les poids frais et secs montrent un maximum fin février.

Les mesures de glycogène indiquent un maximum en janvier, suivi d'une baisse fin février. L'utilisation du glycogène est due à l'élaboration des produits génitaux (90 % des individus au stade C selon l'échelle de Lucas (Lucas, 1965). C'est pendant cette période que la croissance est très importante. Une remontée et une seconde baisse, en avril-mai permettent de penser qu'il y a eu une seconde période de frai

## III CONCLUSION

Dans le bassin, les deux espèces ont donc suivi une évolution assez comparable : mortalité très faible, croissance linéaire et pondérale quasi continue. La baisse du phytoplancton en avril - mai se ressent chez les deux bivalves. Cependant quelques différences sont à noter : *Venerupis semidecussata* semble plus sensible aux conditions extérieures : arrêt de la croissance et utilisation des réserves pour une température trop basse et une salinité trop forte. Pour *Cerastoderma glaucum*, beaucoup mieux adapté, le taux de croissance relative le plus fort est obtenu en janvier-février, comme le maximum des poids frais et poids sec, alors que les conditions sont les plus rigoureuses, mais c'est aussi le moment du maximum de phytoplancton et notamment des coccolithophorides qui semblent jouer là un rôle trophique important

La comparaison entre ces deux stations montre que les deux espèces, écologiquement adaptées à de tels milieux ont bien supporté des écarts de températures et de salinité à condition que la nourriture soit suffisante (c'est le cas du bassin) alors que dans la lagune, la pauvreté en phytoplancton, la présence de particules en suspension et également de prédateurs a conduit les individus à une survie critique et même à la mort malgré des conditions climatiques beaucoup plus favorables

D'une manière générale, la croissance des populations implantées dans le bassin est nettement supérieure à celles de la lagune. Le $\Delta$ L moyen pour *Venerupis semidecussata* dans le bassin pour 174 jours est égal à 3,045 mm (la taille moyenne d'origine étant de 7,9 mm). Quant à l'espèce *Cerastoderma glaucum*, la croissance est excellente puisque les individus ont pratiquement doublé de volume en six mois, et se sont reproduits vers la mi-mars, ensemençant tous les autres bassins de la saline.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


Anonyme, 1966. — Determination of photosynthetic pigments (Report of SCOR UNESCO Monogr. Oceanogr. Methodol. 1 (détermination of photosynthetic pigments in sea-water) : 9 - 18.

DUNSTAN W.M. et MENZEL D.W., 1971. — Continuous cultures of naturals populations of phytoplancton in dilute, treated sewage effluent. *Limnol. Oceanogr.*, 16 (4) : 623-632

LUCAS A., 1965 — Recherches sur la sexualité des Mollusques bivalves. Thèse Univ. Rennes 135 pp.

RYTHER J.H., 1975. — Preliminary results with a pilot plant waste recycling marine aquaculture system. *Technical report. Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts.*

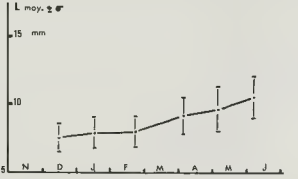
STRICKLAND J.D.H. et PARSONS T.R., 1972. — Pratical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can : 310 pp.*

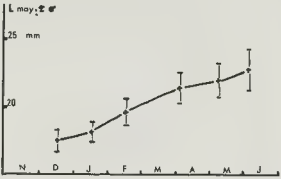
UTERMOHL, 1958 — Zur Vervollkommung der Quantitavem Phytoplankton Methodik. *Comm Ass. int. Limnol. Theor. Appl.*, 9 38

VICENTE N., ESCOUBET P., MARTIN Y., 1975 (1976). — Aménagement de la lagune du Brusc pour l'aquaculture. *Haliotis* 5 : 259-261

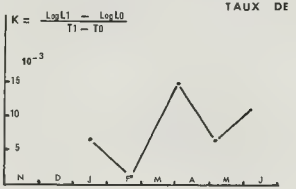
## BASSIN

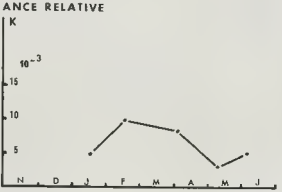
### CROISSANCE LINÉAIRE



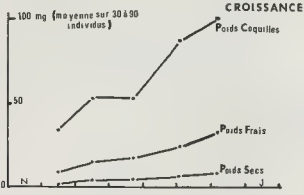



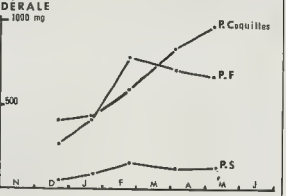

### TAUX DE CROISSANCE RELATIVE



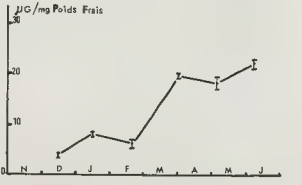



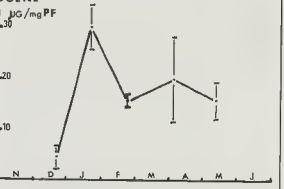

### CROISSANCE PONDÉRALE




### TENEUR EN GLYCOGÈNE



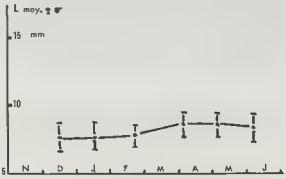

VENERUPIS semidecussata

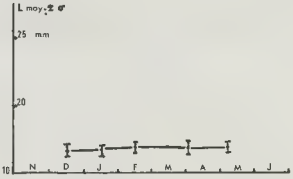
CERASTODERMA glaucum

PLANCHE 4

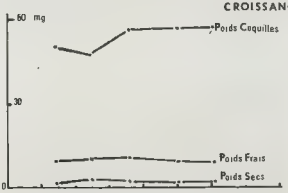
# LAGUNE

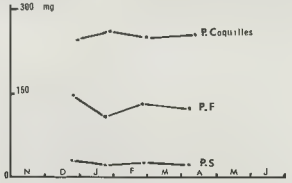
## CROISSANCE LINÉAIRE



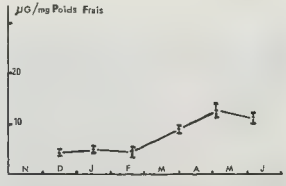



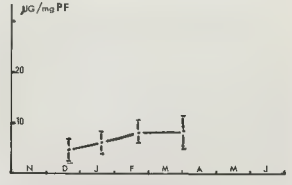

## CROISSANCE PONDÉRALE




## TENEUR EN GLYCOGÈNE




VENERUPIS semidecussata

CERASTODERMA glaucum

## Etude de gastéropodes nudibranches de la lagune du Brusc (Var)

# II. - Rapports trophiques entre les nudibranches *Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana* et un anthozoaire *Parastephanauge pauxi*

*par Alain RIVA et Nardo VICENTE*

Laboratoire de Biologie marine - Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme, 13013 Marseille, et Observatoire de la Mer, Ile des Embiez, Le Brusc, 83140 Six-Fours-les-Plages.

## RÉSUMÉ

Les deux espèces de Nudibranches étudiées se nourrissent d'Actinies, et en particulier, de l'espèce *Parastephanauge pauxi*. Leur comportement prédateur a été observé et montre l'adaptation particulière de *Spurilla neapolitana* à la capture de cette espèce d'Actinie alors que *Aeolidiella alderi* est plus éclectique.

Toutes deux emmagasinent les nématocystes de l'actinie dans leurs cnidosacs, alors que les Spirocystes ne se rencontrent que dans les diverticules hépatiques des papilles branchiales. Les deux types de cellules urticantes sont présents dans le bol alimentaire. Une étude cytologique en a été faite.

Chez *Spurilla neapolitana* les nématocystes sont identiques à ceux de *Parastephanauge*, alors que chez *Aeolidiella* d'autres types de nématocystes peuvent être rencontrés et correspondent à d'autres espèces d'Actinies.

Les défécats des individus étudiés renferment également quelques nématocystes et quelques spirocystes.

Les nématocystes constituent-ils un moyen de défense pour les Aéolidiens ? Ce point reste discuté. Le processus d'inhibition de l'explosion des nématocystes dans l'estomac des Nudibranches n'est pas non plus expliqué.

## SUMMARY

The two species of Nudibranchs studies feed on Actinie and in particular on the species *Parastephanauge pauxi*. Their prédatory behaviour was observed and shows the special adaption of *Spurilla neapolitana* for capture of this species of Actinia whereas *Aeolidiella alderi* is more eclectic. Both of these store the nematocystes of the actinia in their cnidosacs while the spirocysts are not found except in the hepatic diverticules of the respiratory papillae. The two types of urticant cells are present in the alimentary tract.

A cytological study was made in them with *Spurilla*.

The nematocysts are identical to those of *Parastephanauge* whereas with *Aeolidiella* other types of nematocysts can be found, and correspond to other species of Actinie.

The faeces of the specimens studied contain several nematocysts as well as several spirocysts.

Do the nematocysts constitute a means of defense for the Aeolidiella? This question is still to be answered

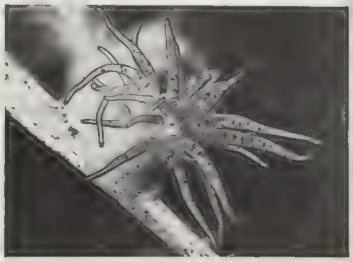
The processes wich inhibit the explosion of nematocysts in the stomach of the Nudibranchs is not accounted for either

Du point de vue trophique, les Gastéropodes Nudibranches étudiés se nourrissent d'Anthozoaires et plus particulièrement d'Hexacoralliaires. Lors des récoltes, nous avons pu remarquer quatre espèces d'anémones, la plus caractéristique du milieu lagunaire étant sans aucun doute *Parastephanauge pauxi*.

Cet Anthozoaire se fixe sur des pierres, mais surtout sur les frondes de *Cymodocea nodosa*, ses tentacules déployés captant les diverses particules organiques en suspension. Sa taille est très variable, le diamètre de la colonne étant compris entre un millimètre et trois centimètres. Seuls ses tentacules se rétractent, et nous avons pu observer que la température ambiante du milieu influait sur leur extension. Lorsque l'eau est à 10° (au mois de janvier, par exemple), les tentacules sont très fins, rétractés, et d'une couleur vert clair. La colonne est un tout petit peu contractée et d'une couleur brun foncé.

A vingt-deux degrés, au mois de juin (par exemple), les tentacules sont très allongés et bien en extension, formant des boucles ; la coloration est brun clair, répartie sur tout l'animal.

**Fig. 1 — Actinie de l'espèce** Paras-tephanauge pauxi



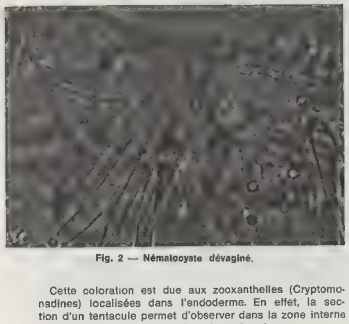


**Fig. 2 — Nématocyste dévaginé.**

Cette coloration est due aux zooxanthelles (Cryptomonadines) localisées dans l'endoderme. En effet, la section d'un tentacule permet d'observer dans la zone interne de petites sphères de couleur brun foncé

La coloration propre de l'animal est representée par des points blancs répartis sur tout le corps.

On peut constater une similitude entre la pigmentation de cette Actinie et *Spurilla neapolitana*, notamment (Fig. 1).

## I COMPORTEMENT PREDATEUR DES NUDIBRANCHES.

Lorsque l'on met en présence dans un récipient une Actinie de l'espèce *Parastephanauge pauxi* et une *Spurilla neapolitana*, celle-ci glisse très rapidement vers sa proie et à son contact elle dévagine son bulbe pharyngien. Au moment où le mufle du Nudibranche s'applique sur la colonne de l'Actinie, il se produit un phénomène de succion à l'intérieur du bulbe qui empêche l'Actinie de se rétracter. Cependant, si la proie est prise par le bord du péristome, elle arrive à enserrer le mufle du prédateur et même à coincer les rhinophores. Cette prise s'effectue en conséquence, le plus souvent par le côté.

Bien que *Spurilla* paraisse être invulnérable à l'action des cnidocystes de l'Actinie, elle est toutefois sensible à leur contact. Elle prend soin tout d'abord de préserver ses rhinophores. Elle les rabat en arrière, loin du contact des tentacules de l'Actinie

Après ablation de ses rhinophores, l'animal est quelque peu désorienté dans la recherche des proies qu'il arrive malgré tout à trouver, les palpes labiaux devant jouer également un rôle important dans le comportement prédateur. Il est à noter qu'après broutage de sa proie, *Spurilla* ne laisse aucun déchet

Dans le cas d'*Aeolidiella alderi*, Tardy (1964) a decrit le mode d'attaque d'une Actinie par cette espèce.

Les papilles de la collerette plantent à bout portant, dans les téguments de la proie, de grandes cellules bourrées de sécrétion. Ce mode est très général, sauf pour les grands individus s'attaquant à des proies peu volumineuses.

En présence de *Parastephanauge pauxi*, *Aeolidiella alderi* refuse d'abord sa proie pendant plusieurs jours, puis, après quelques jours de jeûne, elle s'attaque à l'Actinie en projetant les papilles de la collerette contre elle, la contournant, puis appliquant son ouverture buccale sur la colonne. Il ne se produit aucun phénomène d'aspiration, *Aeolidiella* se contentant de brouter uniquement en laissant de nombreux déchets

Si l'on compare ces deux espèces de Nudibranches on constate que *Spurilla* a une affinité prédatrice plus grande vis-à-vis de *Parastephanauge* qu'*Aeolidiella*, celle-ci l'accepte en l'absence de toute autre nourriture, mais lui préfère certainement d'autres proies

De plus, *Spurilla* a un bulbe adapté à l'attaque d'Actinies de grandes dimensions, alors qu'*Aeolidiella* doit s'attaquer à des Actinies de petite taille. *Spurilla* aspire et broute facilement des proies qui font le double de sa taille. Chez cette espèce, l'aspiration provoquée par les muscles puissants du bulbe explique le fait qu'elle ne laisse pratiquement aucun déchet

On peut noter également que les deux espèces n'ingèrent pas dans le même temps une Actinie de même taille

Pour une Actinie (*Parastephanauge*) de un centimètre de diamètre, il faut 15 à 20 minutes à *Spurilla* et plus d'une heure à *Aeolidiella* pour que l'ingestion ait lieu. Ces Nudibranches sont surtout très actifs à la tombée de la nuit

## II. STOCKAGE ET UTILISATION DES NEMATOCYSTES DE L'ACTINIE.

Lorsque l'on taquine *Spurilla* et *Aeolidiella* avec une tige de verre, elles projettent leurs papilles vers l'objet On peut observer à l'œil nu, qu'au sommet des papilles et sous l'effet de leurs contractions, sort un amas blanchâtre par le pore situé à l'extrémité du cnidosac. Cet amas est constitué par des groupes de nématocystes agglutinés entre eux par une substance gélatineuse se dissolvant assez lentement dans l'eau. Ces nématocystes sont déchargés.

### a) Historique.

Hecht (1895) avait remarqué que les papilles des Aeolidiens contenaient à leur extrémité des sacs cnidophores dans lesquels se formeraient les nématocystes

Après les travaux de Bergh (1862) et de Trinchese (1878), on a constaté qu'il existait un canal de communication entre la base du sac cnidophore et le sommet du cæcum hépatique. Les coupes sériées ont montré la lumière d'un canal bien constitué, depuis l'orifice des papilles jusqu'au cnidosac.

L'origine cœlentérique des nématocystes des Aéolidiens fut pressentie par Abric (1904) et Cuenot (1906).

Abric reconnaît que la plupart des Actinies possedent plusieurs types de nématocystes, et en plus des spirocystes (*Cnidae cochleatae* de Gosse, 1856) : filaments spiralés pleins et non dévaginables, contenus à l'intérieur d'une capsule analogue à celle des nématocystes. Cet auteur n'a rencontré aucun spirocyste chez les Aéolidiens ; comme ceux-ci en absorbent, ils doivent, selon lui, les digérer

De nombreux auteurs, afin d'apprécier la difficulté d'approche dans l'étude de l'ingestion de nématocystes non déchargés par les Aéolidiens, ont essayé de connaître la nature de la décharge des nématocystes

Ils précisent qu'il est facile de voir qu'un nématocyste isolé dans le milieu où il baigne ne se dévaginera pas nécessairement. Donc, on peut imaginer un Aéolidien absorbant sans danger des nématocystes dans son canal alimentaire, et sans craindre leur décharge. On sait que les concentrations que l'ion $H^+$ dans l'estomac et les conduits hépatiques donne un pH de 6,2. Quoique acide, cela paraît insuffisant pour provoquer le gonflement de la protéine à l'intérieur du nématocyste.

Quelques auteurs ont recherché les effets des solutions acides et des solutions salines sur la décharge des nématocystes.

Glaser et Sparrow (1909) ont noté que l'effet d'acides et de sels sur les nématocystes n'est pas un effet physiologique au sens strict. Pour la plupart des expériences envisagées, la force de l'acide n'était pas indiquée, ou bien la solution était exprimée en pourcentage.

Ainsi, Weill (1934) utilisait dans ses expériences sur une Hydre et sur *Actinia aequina* des solutions à :

20 % — 10 % acide sulfurique,

10 % — 5 % acide acétique,

40 % — 6 % soude dans l'eau distillée

Dans chaque cas, la capsule nématocystique était relativement imperméable à ces substances. Weill pensait à un phénomène d'osmose après stimulation du cnidocil

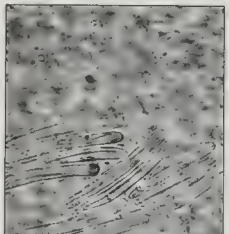


**Fig. 3 — Nématocyste invaginé. On voit très bien la hampe entourée du filament plus fin qui la prolonge.**

D'autres auteurs envisagent l'explosion du nématocyste en rapport avec plusieurs formes d'activité, comme, par exemple, le mouvement ciliaire, le mouvement amiboïde, ou la contraction musculaire.

Pour Cuenot (1906-1907), qui a longtemps étudié l'immunité des Aéolidiens "cnidocleptes", le fait que les Mollusques appliquent leur mufle buccal sur la proie sans laisser aucun accès à l'eau de mer ambiante pourrait expliquer que les nématocystes n'éclatent pas. Parmi ces données bibliographies, beaucoup ont été contestées et il serait intéressant de reprendre des expériences afin d'en tirer des conclusions plus précises.

b) **Mise en évidence des Nématocystes.**

Abric (1904) essayait de les mettre en évidence par coloration sur matériel frais, de même que les spirocystes

Les Nématocystes sont colorables par les colorants basiques ; les Spirocystes dans les mêmes conditions, par les colorants acides, d'où l'intérêt des colorations combinées

La coloration de ces cellules est très nette avec : Brun Bismarck, Thionine phéniquée, vert de méthyle, safranine, bleu de méthylène, rouge Congo, Eosine, Triacide d'Erlich (Spirocystes colorés en rouge vineux). L'action de ces réactifs diminue en général, la colorabilité des nématocystes par les colorants basiques

Chez certains Aéolidiens, les nématocystes s'accolent sur les faces des nématoblastes ("cellules agglutinantes") et ils s'invaginent par la suite dans ces cellules La réaction change et ils deviennent remarquablement colorables par l'éosine. Dans cet état ils sont encore fonctionnels.

L'étude histologique mise en œuvre a permis de suivre le trajet de la nourriture à travers l'estomac, le cæcum hépatique et l'intestin.

Par la méthode panoptique de Papenheim, les nématocystes ont été colorés en gris pâle :

- par le bleu alcian à pH acide, ils sont jaunes très pâle et les spirocystes très jaunes ; les diverticules hépatiques sont bien différenciés et les lacunes sanguines sont colorées en bleu vert ;
- par le P.A.S., les spirocystes sont rouge clair, les nématocystes sont difficiles à voir, mais assez transparents ; les lacunes sanguines sont vertes ;
- par la coloration de Mallory, les spirocystes apparaissent en jaune, les nématocystes en rouge dans les cnidosacs, et les lacunes sanguines sont rouge violine.

c) **Observations chez Parastephanauge pauxi, Spurilla neapolitana et Aeolidiella alderi.**

Les observations du bol alimentaire de ces deux dernières espèces montrent un mélange de zooxanthelles, de spirocystes et de nématocystes englobés dans un mucus. Il convient de noter que chez *Parastephanauge* les nématocystes sont difficilement colorables.

Sur les lames montrant la présence d'une poche nématocystique on ne peut observer de spirocystes. Par contre le changement de coloration des nématocystes observé par Abric dans le cnidosac s'est avéré exact. Par exemple, par la réaction au P.A.S., les nématocystes invaginés, situés dans l'estomac et le canal hépatique, sont difficilement visibles : ils sont plus ou moins réfringents. Ceux des cnidosacs sont amalgamés ou isolés, et apparaissent en rose vert

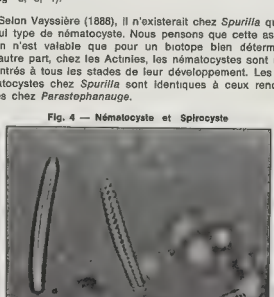
Dans le tube digestif, ainsi que dans les papilles, les spirocystes invaginés sont toujours bien colorés, mais ils ne semblent pas posséder de capsule, comme le signale Abric.

Cependant, des observations sur du matériel frais montrent qu'ils sont encapsulés.

La présence de spirocystes et de nématocystes chez les deux espèces d'Aéolidiens étudiées est indiquée dans le tableau ci-après, de même que la taille de ces cellules chez l'Actinie consommée *Parastephanauge pauxi* (Fig 2, 3, 4).

Selon Vayssière (1888), il n'existerait chez *Spurilla* qu'un seul type de nématocyste. Nous pensons que cette assertion n'est valable que pour un biotope bien déterminé. D'autre part, chez les Actinies, les nématocystes sont rencontrés à tous les stades de leur développement. Les nématocystes chez *Spurilla* sont identiques à ceux rencontrés chez *Parastephanauge*.

**Fig. 4 — Nématocyste et Spirocyste**



| + Présence constante<br>± Peut faire défaut<br>— Absence | Spirocystes | | Nématocystes | |
|---|---|---|---|---|
| | Papilles | Cnidosac | Papilles | Cnidosac |
| *Spurilla*<br>*Aeolidiella* | +<br>+ | —<br>— | ±<br>± | +<br>+ |
| *Parastephanauge pauxi* | taille : 25 × 35 µ | | petits : 11 × 2,5 µ<br>moyens : 16 × 6 µ<br>grands : 31 × 3,5 µ | |

Chez *Aeolidiella*, nous avons pu observer des nématocystes légèrement différents, ce qui semble prouver que ce Nudibranche peut se nourrir d'autres espèces d'Actinie. Chez les deux espèces d'Aeolidiens, les nématocystes apparaissent groupés en amas dans le cnidosac (Fig 5, 6) On peut remarquer des différences dans la forme et la structure des cnidosacs.

Chez *Spurilla*, on remarque des spirocystes invaginés dans les papilles, mais jamais dans les cnidosacs ; de même chez *Aeolidiella*, les spirocystes se trouvent à l'intérieur des papilles et ils sont moins nombreux que chez *Spurilla*

Il serait intéressant de rechercher si certaines sécrétions de glandes salivaires ne présentent pas un effet neutralisant sur les nématocystes, et, par ailleurs, il reste à connaître aussi l'utilité de ces cellules pour les Aéolidiens Elles sont considérées généralement comme des moyens de défense pour le Nudibranche.

Elles peuvent l'être en certains cas, cependant Streble (1969) considère que chez *Aeolidiella papillosa*, l'accumulation des nématocystes dans les sacs cnidophores ne constitue pas un moyen de défense, mais un mode d'excrétion. Les défécats des individus étudiés renferment également quelques nématocystes et quelques spirocystes. Abrio avait envisagé que la substance interne des nématocystes servait de nourriture aux cellules nématophages. Dans ce cas, à quoi pourraient servir les cnidosacs ?

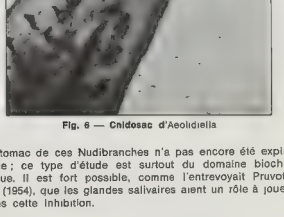


**Fig. 6 — Cnidosac** d'Aeolidiella

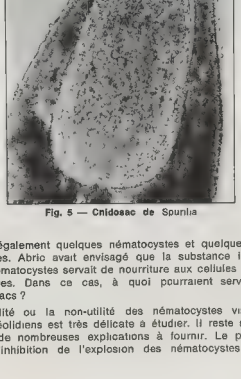


**Fig. 5 — Cnidosac de** Spurilla

L'utilité ou la non-utilité des nématocystes vis-à-vis des Aéolidiens est très délicate à étudier. Il reste sur ce sujet de nombreuses explications à fournir. Le processus d'inhibition de l'explosion des nématocystes dans l'estomac de ces Nudibranches n'a pas encore été expliquée ; ce type d'étude est surtout du domaine biochimique. Il est fort possible, comme l'entrevoyait Pruvot-Fol (1954), que les glandes salivaires aient un rôle à jouer dans cette inhibition.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


ABRIC P., 1904. — Sur les nématobastes et les nématocystes des Aéolidiens - *C. R. Soc. Biol Paris*, 57, p. 7-9.

BERGH L.S.R., 1892. — On the existence of urticating filaments in the mollusca - *Quart. Journ. Micr. Sci.* 2, p. 274-277

CUENOT L., 1906. — Les Aéolidiens empruntent leurs nématocystes aux Coelentérés dont ils se nourrissent. *C. R. Soc. Biol.* Paris, 58 (2), 541-543.

CUENOT L., 1907. — L'origine des nématocystes des Aéolidiens ; *Arch. Zool. Expér. Génér.* Paris, (4) 6, 73-109. 3 pl

GLASER O.C. et SPARROW C.M., 1909. — The physiology of nématocysts. *Journ. Expér. Zool.* 6 (3), 361-382.

GRAY J., 1922 — The mechanism of Ciliary movement. *Proc. Roy Soc.* London, B, 43, p. 104

HECHT E., 1892. — Remarque sur quelques moyens de défense des Aéolidiens - *C. R. Acad. Sci Paris* 115, p. 746-748.

PRUVOT-FOL A., 1954. — Mollusques Opisthobranches. *Faune de France 58, Paul Lechevalier* Paris, p. 1-460.

STREBLE H., 1969 — Bau und bedeutung der Nesselsacke von *Aeolidiella papillosa* L., der britzwerzigen fadenschnecke (Gastropoda Opistobranchia) *Candidwirtsh* - Hohenheim.

TARDY J., 1964 — Comportement prédateur de *Aeolidiella alderi* (Mollusque Nudibranche) *C. R Soc. Biol.* Paris, 160, 2, p. 369-371.

TRINCHESE S., 1878 — Anatomia e fisiologia della *Spurilla neapolitana*. Mem. (R) *Accad. Sc. Istit. Bologne* (3) 9 (3) 405 - 450 pls 1 - 12.

VAYSSIERE A., 1885. — Recherches zoologiques et anatomiques sur les Mollusques Opisthobranches du golfe de Marseille, *Ann. Mus. Hist. Nat.* Marseille, II, p. 1-161

WELL, 1934. — Contribution à l'étude des Cnidaires et de leurs nématocystes. I - Recherches sur les nématocystes. *Trav. Sta Zool. Wimereux*, 10.

## Etude de gastéropodes nudibranches de la lagune du Brusc (Var)

# III. - Observations d'algues symbiotiques dans l'organisme de *Aeolidiella alderi* *Spurilla neapolitana* et *Favorinus branchialis*

*par Alain RIVA et Nardo VICENTE*

Laboratoire de Biologie marine, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme - 13013 Marseille (France), et Observatoire de la mer, Ile des Embiez, Le Brusc - 83140 Six-Fours-les-Plages (France).

## RÉSUMÉ

La présence d'algues symbiotiques dans l'organisme des Aeolidiens, et en particulier sans les diverticules hépatiques, confère à ces animaux une coloration caractéristique liée au biotope dans lequel ils vivent. L'origine nutritionnelle de cette coloration est démontrée et elle est due à la présence de zooxanthelles.

Des animaux, soumis à un jeûne prolongé, présentent au bout de huit jours des papilles claires avec des zooxanthelles peu nombreuses, alors que les animaux nourris ont des papilles brun foncé.

Les observations de pelotes fécales montrent également la présence de zooxanthelles rabougries et de couleur jaune. Ces cellules peuvent être soit mortes et ensuite évacuées soit alors, elles sont digérées et ensuite évacuées.

Les papilles servent en quelque sorte de réserve de nourriture et les cellules algales sont utilisées en période de jeûne. Chez *Aeolidiella* existent aussi des zoochlorelles

Par la méthode du chromatogramme comparatif les ressemblances pigmentaires des Nudibranches et des Actinies dont ils se nourrissent, ont été mises en évidence

## SUMMARY

The presence of symbiotic algae in the bodies of Aeolidians and in particular in the hepatic diverticules confers on these animals a characteristic colour linked to the biotope in which they live. The alimentary origin of this coloration is demonstrated and it is due to the presence of zooxanthelles.

Those animals submitted to a prolonged fast show, at the end of eight days, clear papillae with few zooxanthelles, whereas the animals fed normally have dark brown papillae.

The observation of the faecal balls shows as well the presence of zooxanthelles that are deformed and coloured yellow. These cells could either have been dead and then evacuated or have been digested and then evacuated..

The papillae serve as a sort of food reservoir and the algal cells are used in periods of fast. In *Aeolidiella* they are also zoochlorelles

By the method of comparative chromatography the pigmentary resemblance between the Nudibranchs and the Actinia upon which they feed was demonstrated.

La nourriture semble jouer un rôle très important dans la pigmentation des téguments de certaines espèces d'Aéolidiens. Cette coloration est, quelquefois, en rapport avec la présence d'algues unicellulaires contenues dans leurs tissus (Naville, 1926)

L'association symbiotique des algues unicellulaires avec divers animaux est connue depuis le XIXe siècle. Depuis lors, de nombreux travaux ont été réalisés sur les relations des algues symbiotiques avec les Protozoaires, les Cnidaires et les Plathelmintes, mais très peu ont concerné les Mollusques.

Hecht (1895) reconnait qu'il pourrait exister une relation symbiotique entre les Gastéropodes Opisthobranches et les algues unicellulaires, en particulier, les Zooxanthelles. Les travaux de Labbé (1923) et Naville (1926) ont confirmé cette hypothèse.

Buchner (1965) rapporte une liste d'espèces de Nudibranches qui renferment des Zooxanthelles dans les appendices dorsaux. D'autres espèces contiendraient des zoochlorelles ou algues vertes, et cet auteur suppose que de ce fait, dans tous les cas, les cellules algales proviennent de la nourriture

Chez les trois espèces étudiées : *Aeolidiella alderi*, *Spurilla neapolitana*, *Favorinus branchialis*, la pigmentation propre est plus ou moins réduite. La coloration générale des animaux est alors celle des tissus ; elle est surtout d'origine nutricielle. Pour les individus récoltés dans un même biotope, cette coloration varie très peu d'un individu à l'autre. Mais, d'après de nombreuses descriptions de différents auteurs, elle semble être modifiée lorsque les biotopes changent. Il semble donc que ces espèces soient éclectiques quant au choix de la nourriture.

L'origine nutricielle de la coloration des espèces décrites a été envisagée avant même le XXe siècle. Et l'on a remarqué par la suite que cette coloration était due pour certaines espèces à des algues unicellulaires,

(Zooxanthelles) ; nous en avons observé chez *Spurilla* et *Aeolidiella*, mais pas chez *Favorinus* ; or Buchner (1965) signale leur présence chez les trois espèces Chez *Favorinus*, la couche tégumentaire d'un blanc opaque est formée par une multitude de petites cellules ovoïdes situées dans la région superficielle des tissus

Certains auteurs pensent que ces nombreux corpuscules blancs sont de nature calcaire comme ceux que l'on rencontre chez de nombreux Tectibranches (Aplysie) et ils disparaissent avec effervescence en présence d'acide (Vayssière, 1885).

## I. PRESENCE D'ALGUES SYMBIOTIQUES DANS LE TEGUMENT DES AEOLIDIENS

### 1. Historique

Hecht (1892) reconnaissait chez *Spurilla* trois types principaux de cellules vacuolaires excrétrices, de grandes dimensions, des cellules excrétrices brunes, des cellules "à ferment", caractérisées par la présence de petites vésicules, et des cellules indifférentes pouvant évoluer en l'un ou l'autre des trois autres types. Les cellules "à ferment" auraient une physiologie complexe leur fonction serait de phagocyter de fines particules solides mélangées aux aliments. Les cellules excrétrices à grosses sphères brunes, caractéristiques des cellules du foie, renferment deux à cinq corps arrondis et mesurent 8 microns de diamètre. Cet auteur retrouvait dans les pelotes fécales, ces cellules excrétrices qui colorent plus ou moins les excretats

Henneguy (1915) a remarqué, lui aussi, ces sphères brunes dans les cellules hépatiques de *Spurilla neapolitana*, de *Favorinus albus* et de *Spurilla glauca*. Il constate que ces corps peuvent se diviser à l'intérieur des cellules.

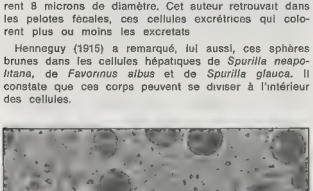


**Fig. 2. — (Zx) Zooxanthelles ; (Sp) Spirocyste ; (N) Nématocyste.**

Il donne à ces sphères brunes, à la suite de Hecht, le nom de zooxanthelles. Elles ont une membrane résistante, épaisse, le noyau renfermant des granulations chromatiques, une vacuole (plus rarement deux) et ont un diamètre pouvant varier entre 6 à 8 µ et de 2 à 3 µ. En soumettant les individus de *Spurilla* à un jeûne prolongé, les tissus hépatiques se vident de ces sphères brunes.

Le problème de la pénétration des zooxanthelles dans les cellules hépatiques, tout comme celui de la pénétration de nématocystes coelentriques dans les cellules épithéliales des cnidosacs, demeurait entier au début du siècle. Labbé (1923) reconnaît que l'alimentation a une influence sur la coloration des Aéolidiens Pour conduire son étude, il opère sur des individus de *Spurilla neapolitana* et de *Favorinus branchialis* absolument blancs. D'après lui, la coloration banche de *Favorinus* n'est pas due à des sels calcaires, comme le croyait Vayssière, mais à des cristaux de xanthine qui seraient en relation avec l'alimentation actinienne

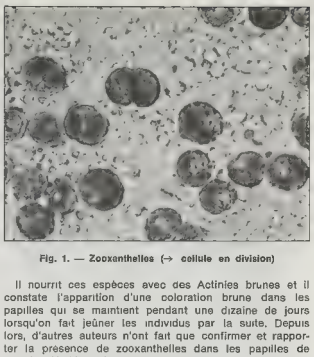


**Fig. 1. — Zooxanthelles (→ cellule en division)**

Il nourrit ces espèces avec des Actinies brunes et il constate l'apparition d'une coloration brune dans les papilles qui se maintient pendant une dizaine de jours lorsqu'on fait jeûner les individus par la suite. Depuis lors, d'autres auteurs n'ont fait que confirmer et rapporter la présence de zooxanthelles dans les papilles de certains Nudibranches

Naville comme Henneguy, notait que les zooxanthelles pouvaient se reproduire dans les tissus des Nudibranches.

Buchner (1965) parle, lui, pour la première fois de zoochlorelles ou algues vertes qui existaient chez certains Doridiens *(Doridoeiaes gardineri)*.

### 2. Observations

L'observation directe a porté principalement sur les papilles des trois espèces de Nudibranches étudiées et sur les tentacules d'une Actinie dont ils se nourrissent, *Parastephanauge pauxi*.

| + Présence — Absence chez les espèces : | Zooxanthelles (brunes) 6 à 10 µ | Zoochlorelles (vertes) 5 à 15 µ |
|---|---|---|
| Spurilla neapol. ..... | + | — |
| Aeolidiella ald. ..... | + | + |
| Favorinus branch. ... | — | — |
| Parastephanauge pauxi (Actinie) ... | + | — |

De nombreuses techniques de coloration ont été mises en œuvre pour l'étude de ces algues.

Par la méthode panoptique de Papenheim, les zooxanthelles apparaissent jaunes avec un noyau bleu ; celles qui sont digérées sont brun foncé et racornies :

- par le P.A.S., les zooxanthelles sont brunes,
- la coloration de Mallory les fait apparaître brunes, avec un noyau rouge.

L'intérieur de l'estomac et de l'intestin montrent des zooxanthelles vivantes ; de coloration très claire, mais aussi des zooxanthelles très foncées, peu reconnaissables, ce sont des cellules altérées qui semblent indiquer une digestion de ces algues

Les zooxanthelles rencontrées chez *Aeolidiella* et chez *Spurilla* sont identiques. Ce sont de petites sphères brunes. Dans les papilles de ces deux Aeolidiens, des cellules algales en cours de division ont pu être observées (fig. 1 et 2) mais il n'est pas prouvé que cette division s'effectue après ingestion ; les observations ayant été faites sur du matériel fraîchement récolté, les cellules pouvaient être déjà en division dans le tissu actinien au moment de l'ingestion

Reprenant les expériences de Labbé, nous avons fait jeûner des individus de *Spurilla neapolitana*, alors que d'autres étaient nourris à volonté. Au bout d'une huitaine de jours la différence entre les deux lots d'individus était très nette. Les animaux à jeûn étaient de couleur café au lait très clair, avec des zooxanthelles peu nombreuses alors que les animaux nourris étaient de couleur brun foncé. Il apparaît donc que les zooxanthelles ne restent que très peu de temps dans les lobes hépatiques. L'observation des pelotes fécales des Nudibranches montre également des zooxanthelles, mais celles-ci sont rabougries et de couleur jaune. Il existe deux possibilités :

— soit les cellules meurent et sont évacuées,
— soit elles sont digérées et les déchets sont ensuite évacués par le Nudibranche.

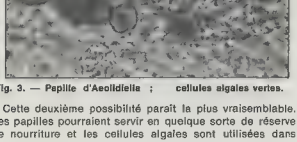


**Fig. 3. — Papille d'Aeolidiella ; cellules algales vertes.**

Cette deuxième possibilité paraît la plus vraisemblable. Les papilles pourraient servir en quelque sorte de réserve de nourriture et les cellules algales sont utilisées dans la période de jeûne.

Chez *Favorinus*, il existe des granulations blanches et des gouttelettes lipidiques, mais nous n'avons pas observé d'algues unicellulaires.

3. **Discussion**

A côté des Zooxanthelles, chez *Aeolidiella*, nous avons observé des cellules vertes de plus ou moins grande taille (fig. 3 ), que nous avons désignées sous le nom de zoochlorelles. Elles ressemblent à des moisissures dans une boîte de Petri.

Ces cellules vertes n'ont jamais été décrites chez cette espèce d'Aeolidien. Elles peuvent donner une coloration particulière aux animaux à certaines périodes de l'année. Communément, la couleur des papilles d'*Aeolidiella* est brune, mais au mois de juin elles peuvent être colorées en rose. Cette couleur est due à la présence de ces zoochlorelles qui avaient perdu leur couleur verte et qui apparaissent roses au microscope. Il reste à expliquer ce phénomène.

Les auteurs ayant étudié ces algues parlent le plus souvent, d'algues symbiotiques. A l'énoncé de la définition de symbiose : « Association intime et constante de deux organismes qui en tirent des avantages réciproques », (De Bary, 1879), deux questions se posent :

- Existe-t-il une symbiose réelle ou partielle entre les zooxanthelles et les Aeolidiens ?
- Existe-t-il des échanges de constituants organiques ?

## II. ETUDE COMPARATIVE DES PIGMENTS DES AEOLIDIENS ET DE L'ACTINIE PAR CHROMATOGRAPHIE SUR COUCHE MINCE

Par la méthode du chromatogramme comparatif, nous avons essayé de mettre en évidence les ressemblances pigmentaires des Nudibranches et des Actinies. Des chromatogrammes sur couche mince ont été réalisés pour *Spurilla*, *Aeolidiella* et *Parastephanauge* (fig. 4).

Sur un chromatogramme on peut observer cinq taches qui sont bien différenciées lors de la migration à partir des trois dépôts. On constate que les quatre premières taches correspondent et sont de même couleur.

Seule *Spurilla* ne présente pas la tache verte. Cette tache verte dont le R.F. (rapport de la hauteur de migration du pigment considéré sur la hauteur du front du solvant) est le plus important, correspond à la chlorophylle *a*. Chez *Aeolidiella*, cette pigmentation verte est due à la présence de zoochlorelles.

La présence de chlorophylle *a*, chez *Parastephanauge*, correspond, soit à la pigmentation propre de l'Actinie, soit au dépôt de chlorophylle sur la colonne de celle-ci. Toutefois, on peut affirmer que les taches de couleur orange, jaune et jaune-orange, correspondant à la pigmentation des zooxanthelles présentes chez *Parastephanauge*, *Spurilla* et *Aeolidiella*. En fonction de ces résultats, il serait logique de penser que *Spurilla* et *Aeolidiella* se nourrissent uniquement de *Parastephanauge* , cependant, comme cela a été dit, d'après les observations faites sur le terrain et en aquarium, nous pouvons dire que *Spurilla* a pour principale nourriture, *Parastephanauge*, alors que *Aeolidiella* peut se nourrir d'autres espèces d'Actinies. De fait, dans le milieu, on observe d'autres espèces d'Actinies renfermant des zooxanthelles. Tout comme les zoochlorelles, les zooxanthelles rencontrées chez *Aeolidiella* peuvent donc provenir de ces autres espèces. L'étude des nématocystes est alors précieuse pour rechercher les anémones servant de nourriture, car elles ont des types de nématocystes différents. Nous signalons par ailleurs, l'existence de nématocystes différents chez *Aeolidiella* (A. Riva et N. Vicente, 1976).

## CONCLUSION

Parallèlement à l'étude des paramètres physiques et chimiques du milieu dans lequel vivent les espèces d'Aeolidiens étudiés, l'examen de la nourriture de ces animaux et la mise en évidence de zooxanthelles et de zoochorelles, permettent d'envisager un autre aspect de cette étude : l'utilité de ces algues dans la physiologie des Aeolidiens.

Pour comprendre l'intérêt d'une telle recherche, il est nécessaire de signaler que Kawaguti (1941) avait observé dans le corps de *Placobranchus ocellatus* (Sacoglosse de Palas) l'existence d'algues vertes unicellulaires. Il a démontré que sous l'action de la lumière, l'association animal/algue produisait plus d'oxygène que l'animal seul, n'en consommait.

D'autre part, en 1965, Kawaguti, Yamamoto et Kamishimay retrouvaient une association similaire chez *Placobranchus ianthobapsus*. Après l'extraction de pigments et l'observation au microscope électronique, le corps vert était identifié comme une algue bleue-verte unicellulaire vivant dans les cellules des glandes digestives de l'animal. Or, depuis peu, Greene (1970) a démontré que ces cellules ne sont pas des algues unicellulaires mais des chloroplastes d'algues. La tentative d'identification du chloroplaste a été établie par étude au microscope électronique et par la comparaison des extraits de pigments. Après incubation des animaux dans de l'eau de mer contenant du $^{14}CO_2$, on a constaté par autoradiographie que les chloroplastes, à l'intérieur de l'animal, fixaient le $C_{14}$ sous l'action de la lumière. Une étude sur la production d'oxygène par les zooxanthelles et les zoochlorelles des Aeolidiens, est envisagée. Elles peuvent avoir un rôle important lors d'une raréfaction de l'oxygène dissous dans la lagune du Brusc, en période estivale notamment, où l'élévation de température affecte la concentration de cet oxygène dissous.

Un autre point actuellement étudié, est l'existence de la relation "symbiotique" entre les autotrophes et les hétérotrophes. L'étude du transport des substances nutritives du symbiote vers l'hôte a été envisagée par Mus-

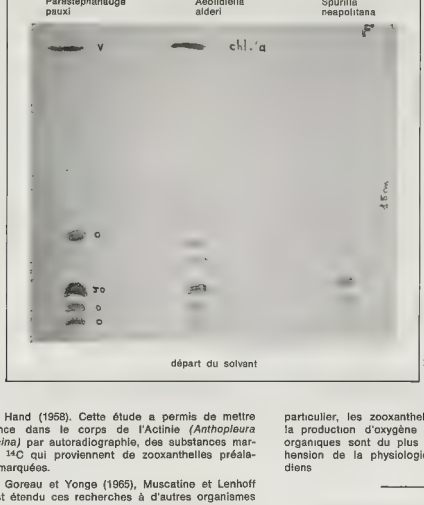



**Fig. 4.Chromatogramme sur couche mince**

catine et Hand (1958). Cette étude a permis de mettre en évidence dans le corps de l'Actinie *(Anthopleura elegantissina)* par autoradiographie, des substances marquées au $^{14}C$ qui proviennent de zooxanthelles préalablement marquées.

Depuis, Goreau et Yonge (1965), Muscatine et Lenhoff (1963), ont étendu ces recherches à d'autres organismes contenant des zooxanthelles. Leurs efforts ont porté sur l'étude "in vitro" d'algues symbiotiques afin d'élucider la nature des composants excrétés dans le milieu externe

Smith, Muscatine et Lewis (1969) ont pu ainsi identifier par radiochromatogrammes, les hydrates de carbone produits par les algues symbiotiques dans l'organisme de l'animal hôte. Il s'agit en particulier, du Glycerol, du Glucose ou du Maltose, qui dépendent de l'association envisagée

D'après les résultats de ces expériences, il apparaît qu'il y a transfert vers l'animal hôte, de substances synthétisées au sein des cellules algales, et notamment des sucres. Ce problème de transport de constituants organiques est envisagé pour les Actinies. Il a été étudié par Greene (1970) pour d'autres Nudibranches *(Elysia hedgpathi* et *Placobranchus)* contenant des Chloroplastes d'algues dans leurs tissus.

Ce type d'étude n'a pas été réalisé, à notre connaissance, sur les Aeolidiens renfermant des zooxanthelles Il existe certainement des transferts de substances élaborés par les zooxanthelles dans les lobes hépatiques. Toutefois, la durée de vie des cellules algales dans ces lobes paraît limitée. Il est donc nécessaire de poursuivre ce type d'étude, afin de préciser jusqu'à quel point il existe une association entre les zooxanthelles et les Aeolidiens.

Pour ce faire, nous envisageons des mesures suivies des paramètres du milieu et des facteurs nutritifs, en particulier, les zooxanthelles et les zoochlorelles, dont la production d'oxygène et le transfert de substances organiques sont du plus grand intérêt pour la compréhension de la physiologie trophodynamique des Aeolidiens

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BUCHNER P., 1965. — Endosymbiosis of animals with plant microorganisme *Interscience*, NY p. 1-909

GOREAU N.I. et YONGE C.M., 1965. — Evidence for a soluble algal factor produced by the zooxanthelae of *Tridacna elongata* (Bivalvia Tridacnidae). *Int Cont. Tropical oceanography*, 18 Nov. 1965.

GREENE R.W., 1970 — Symbiosis in Sacoglossan Opisthobranch : translocation of photosynthetic products from chloroplast to host tissue *Malacologia*, 10 p. 389-396

GREENE R.W., 1970. — Symbiosis in Sacoglossan Opisthobranch : symbiosis with algal chloroplast. *Malacologia*, 10 (2) p. 357-368.

HECHT E., 1892. — Remarques sur quelques moyens de défense des Aeolidiens. C.R. Acad. Sci. Paris, 115, p. 746-748

KAWAGUTI S., 1941. — Study on the invertebrates associating unicellular algae I. *Placobranchus ocelatus* von Hasselt a nudibranch. *Paleo. Trop. Biol. Sta. Studies*, 2, p. 307-308.

KAWAGUTI S., YAMAMOTO M. et KAMISHIMAY, 1965. — Electron microscopy on the symbiosis between blue-green algae and an Opisthobranch, Placobranchus *Proc. Japan. Acad.* 41, 614-617.

LABBE C., 1923. — La genèse des nématocystes des Nudibranches. *C.R. Acad. Sciences Paris*, 176, p. 1509-1510

MUSCATINE L. et HAND C., 1958. — Direct evidence for transfer of materials from symbiotic algae to the tissues of a coelenterate. *Proc. nat. Acad. Sci.* 44, 259-1263.

MUSCATINE L. et LENHOFF H.M., 1963. — Symbiosis of Hydra with Algae. *J. Gen microbiol.*, 32.

NAVILLE A., 1926. — Notes sur les Aeolidiens. Un Aeolidien d'eau saumâtre. Origine des nématocystes Zooxanthelles et Homochromie. Rev. Suisse Zool., 33 p. 251-289.

RIVA A et VICENTE N., 1976. — Rapports trophiques entre les Nudibranches *Aeolidiella alderi, Spurilla neapolitana* et un Anthozoaire de la lagune du Bruse (Var - France). *Haliotis*, VII (à paraître)

SMITH D.L., MUSCATINE L. et LEWIS D., 1969. — Carbohydrate movment from autotrophs to heterotrophs in parasitic and mutualistic symbioses. Biol. Rev. 44, p. 17-90.

VAYSSIERE A., 1885. — Recherches zoologiques et anatomiques sur les Mollusques Opisthobranches du golfe de Marseille *Ann Mus. Hist. Nat.* Marseille, II, p. 1-181.

# THEME 4
# NUISANCES ET POLLUTIONS

# Aspects physiologiques et écologiques des contaminations des mollusques pélécypodes par les radionucléides et autres éléments à l'état de traces

*par M. MASSON et J. ANCELLIN*

Laboratoire de Radioécologie marine, C.E.A., Centre de La Hague,
B.P. 270 - 50107 Cherbourg

## RÉSUMÉ

A partir d'une étude bibliographique non exhaustive, les connaissances acquises en radioécologie marine sur le rôle que peuvent jouer les mollusques pélécypodes dans la concentration et le transfert des radioisotopes et des éléments traces sont passées en revue. Un certain nombre de données concernant le métabolisme des isotopes stables et radioactifs chez les mollusques, ainsi que celles concernant les effets des radiations ionisantes sur les mollusques sont brièvement exposées, le rôle de ces organismes dans la redistribution des radiocontaminants vers les autres composants du milieu et vers l'homme est examiné.

## ABSTRACT

From a non exhaustive bibliographic study the present knowledges in marine radioecology on the part that pelecypod mollusks may perfome in transfert and concentration of radionuclides and trace elements are reviewed Some data concerning the stable and actif isotopes molluscan metabolism and those concerning effects of ionising rays on mollusks are briefly exposed; the part that play this organisms in radionuclides redistribution to environment and man is presented.

## INTRODUCTION

Les mollusques pélécypodes marins sont connus pour leur faculté d'accumuler les métaux lourds. Dès le début de ce siècle plusieurs chercheurs dont Hiltner et Wichman (1919) et Bodansky (1920) observaient que le verdissement des huîtres était dû à la présence d'ions du cuivre et du zinc dans la chair de l'organisme, phénomène connu sous le nom de leucocytose verte (Ranson, 1951) Le pouvoir de concentration d'éléments à l'état de traces présents dans le milieu aquatique est maintenant reconnu comme une faculté universelle de la matière vivante. Ce phénomène a été particulièrement mis en évidence ces dernières années par les effets parfois catastrophiques des pollutions métalliques sur l'environnement ou sur la santé publique, mais aussi par les études effectuées en radioécologie sur les transferts des radioisotopes dans le milieu marin

Les mollusques sont parmi les organismes marins littoraux présentant les plus grandes variétés d'espèces et les plus importantes variétés de population. De plus nombre de ces espèces sont élevées pour la commercialisation dans la zone de balancement des marées, souvent estuarienne Des biomasses considérables sont atteintes soit dans les biocœnoses naturelles comme les moulières (14 tonnes/ha) ou au niveau des zones conchylicoles (300 huîtres/m²).

En raison de leur écologie et de leur capacité de concentrer des éléments à l'état de traces, les pélécypodes sont particulièrement vulnérables à l'augmentation des taux de pollution métallique due aux activités industrielles comme l'établissent les nombreuses études publiées récemment (Brooks et Rumsby, 1965 ; Pringle *et al.*, 1968 ; Segar et Riley, 1971 ; Elderfield et Thornton, 1971 ; Portmann, 1971 ; Abdullah *et al.*, 1972 ; Butterworth *et al.*, 1972 ; Preston *et al.*, 1972 ; Thrower *et* Eustace, 1972 ; Boyden, 1974, 1975 ; Fowler et Oregioni, 1976 ; Nielsen et Nathan, 1975). Corrélativement ces mollusques sont d'excellents indicateurs des niveaux de pollution par les métaux lourds ainsi que par les radioisotopes provenant de l'industrie nucléaire civile (centrales électronucléaires, propulsion nucléaire, usines de traitement...) ou militaire (explosions thermonucléaires)

A partir de l'expérience acquise au Laboratoire de Radioécologie Marine du Centre C.E.A. de La Hague et à l'aide de quelques exemples tirés d'une étude bibliographique non exhaustive nous allons évoquer les grands points intéressant plus particulièrement les rapports existant entre les mollusques pélécypodes et les contaminants radioactifs.

### I. LES RADIOCONTAMINANTS

#### 1. Notion d'éléments traces

En dehors des ions majeurs (Na, Mg, Ca, K, Se, Cl, $SO_4$, $ACO_3$, Br, F) qui constituent 99 % des sels dissous, le milieu aqueux marin est composé d'ions dont la concentration est inférieure à 0,01 ppm ou éléments à l'état de traces. A ces éléments naturels à l'état de traces dont les proportions sont très variables, s'ajoutent les polluants métalliques introduits dans la mer par l'industrie dont en particulier les isotopes radioactifs. En réalité la teneur des radioisotopes introduits dans le milieu est largement inférieure à celle des polluants stables. A cet égard les radioisotopes peuvent être considérés comme des micropolluants d'un point de vue chimique, pour la majorité d'entre eux c'est surtout leur nuisance radioactive qui intervient. Cependant, en matière de contamination radioactive, on doit tenir compte du fait que le comportement et le devenir d'un radioélément sont dans un certain nombre de cas, à rapprocher de ceux des éléments à l'état de traces : ce que l'on sait sur les modes de transfert et d'intégration biologique de ces éléments peut aider à analyser et à comprendre le comportement des contaminants radioactifs.

Dans une optique biochimique, on peut distinguer trois types d'éléments à l'état de traces :

- Ceux qui ont une fonction indispensable à la vie, tels les oligoéléments (Co, Zn, Fe, Cu, Mn ...)
- Les "mimétiques chimiques" ; il s'agit d'éléments proches d'un autre élément et susceptibles d'échanges avec ce dernier : cas du caesium vis-à-vis du potassium, du strontium vis-à-vis du calcium.
- Les éléments pour lesquels aucun rôle biologique n'est actuellement connu C'est le cas du chrome, du

cerium, du ruthénium, des transuraniens tel le plutonium. Tous ces éléments peuvent devenir des polluants s'ils se trouvent en excédent dans le milieu ou s'ils se trouvent sous la forme de leurs isotopes radioactifs.

2. **Facteur de concentration**

Afin d'apprécier l'importance d'un élément dans un organisme il est apparu commode d'évaluer le facteur de concentration de cet élément par rapport au milieu :

$$FC = \frac{\text{Radioactivité spécifique de l'élément par unité de poids (pCi/kg frais)}}{\text{Radioactivité spécifique dans l'unité de volume d'eau de mer (pCi/l)}}$$

Un inventaire bibliographique des facteurs de concentration des éléments radioactifs et stables par les organismes marins a été établi par Ancellin, Guéguéniat et Germain (1976, sous presse). Il apparaît que les mollusques présentent des F.C. de $10^3$ pour certains éléments, comme le zinc, ce qui les place parmi les organismes possédant le plus fort pouvoir de concentration. On note que la concentration de beaucoup d'éléments traces métalliques dans la coquille de la majorité des mollusques analysés est du même ordre de grandeur d'une espèce à l'autre. Cependant, des variations existent pour le fer, le strontium et le zinc chez quelques espèces. Mais, pour les parties molles par contre, si les concentrations en éléments majeurs sont du même ordre de grandeur, les concentrations en éléments traces sont extrêmement variables d'une espèce à l'autre, d'un élément à l'autre, dans le temps et dans l'espace par une même espèce. Le facteur de concentration est une donnée indispensable pour le calcul des doses d'irradiation délivrées aux organismes et à l'homme en particulier par suite des transferts de radioactivité

3. **Les voies de transfert**

Les mollusques, comme tous les autres organismes aquatiques, sont en rapport avec les éléments traces par l'intermédiaire de trois vecteurs : l'eau, la nourriture et les sédiments.

L'incorporation des éléments traces dans les systèmes biologiques peut se faire à partir de ces vecteurs selon divers processus (Brooks et Rumsby, 1965 ; Ancellin et al., 1973) :

- ingestion de particules en suspension dans l'eau de mer,
- ingestion d'éléments préconcentrés dans la nourriture,
- complexation de métaux par les molécules organiques,
- incorporation d'ions métalliques dans les systèmes physiologiques importants,
- fixation par échange,
- adsorption à la surface des organes,
- diffusion transmembranaire.

Les organismes vont se trouver, en présence d'un polluant introduit dans le milieu, soumis à une contamination qui peut agir selon deux processus : contamination passive ou contamination active. La première est physico-chimique et l'organisme sera pour le polluant equivalent à un support inerte. La deuxième est biologique, le polluant est activement intégré par l'organisme et, selon les potentialités de l'organisme, plus ou moins régulé.

Les mollusques marins pélécypodes sont considérés pour la plupart comme étant des poïkilosmotiques. Leur hémolymphe à la même concentration que celle de l'eau de mer. Beaucoup de pélécypodes marins sont euryhalins et peuvent supporter des basses salinités de 4 à 5‰ *(Mytilus, Cardium)*. Bien qu'ils restent alors en équilibre osmotique avec le milieu, leur composition ionique est souvent différente de celle du milieu externe ; elle est plus riche, notamment en potassium et en magnésium, ce qui laisse supposer une sélection ionique, donc une régulation de ces éléments principaux. La régulation iono-osmotique des éléments principaux semble liée aux variations du pool des acides aminés (Schoffeniels et Gilles, 1972 ; Gilles, 1975). Certains éléments à l'état de traces, par contre, sont concentrés en quantités considérables et il ne semble pas y avoir de régulation en ce qui les concerne ; c'est le cas du plomb chez *Crassostrea gigas* (Pringle *et al.*, 1968). Cependant il faut, comme le souligne Nassogne (1970) être prudent avec la notion de régulation, car si la régulation n'est pas mise en évidence, cela ne signifie pas qu'elle n'existe pas ; on peut être en présence de deux phénomènes dont les effets s'ajoutent : une contamination biologique (intégration accompagnée de régulation) et une contamination passive, plus importante que la première, qui masque celle-ci, ce qui peut être toxique pour l'organisme.

## II. PARAMETRES AGISSANT SUR LES VOIES DE TRANSFERT DES RADIOISOTOPES

1. **Paramètres physico-chimiques du polluant**

Les éléments naturellement à l'état de trace dans le milieu marin sont engagés dans un cycle géochimique long et sont à l'équilibre physico-chimique avec le milieu (Poïlkarpov 1966 ; Fukai *et al.*, 1968 ; Robertson, 1971 ; Ancellin *et al.*, 1973). Par contre les polluants métalliques introduits par les activités humaines passent par un cycle court, depuis leur rejet jusqu'à leur incorporation par les organismes (Fraizier, 1974). Au cours de ce cycle, le polluant introduit sous une certaine forme physico-chimique peut subir diverses modifications susceptibles à leur tour de modifier son pouvoir contaminant.

Robertson (1971) a proposé une classification des états possibles des radionucléides et autres éléments traces dans les océans.

Ces diverses formes peuvent évoluer soit vers les états solubles, soit vers les états insolubles en fonction de

| | |
|---|---|
| Solution vraie<br>0,001 µm | 1) Ions simples hydratés<br>2) Ions complexés inorganiques<br>3) Composés chélatés organiques<br>4) Espèces moléculaires et polymérisés<br>5) Paires d'ions |
| Colloïdal<br>0,001 - 0,10 µm | 1) Substances minérales<br>2) Produits d'hydrolyse et de précipitation<br>3) Biopolymères et détritus |
| Particulaire<br>0,1 - 5 µm | 1) Particules organiques<br>a) plancton<br>b) détritus<br>c) bactéries et micro-organismes<br>2) Particules inorganiques<br>a) substances minérales<br>b) particules précitées et coagulées |

deux phénomènes majeurs : la complexation par la matière organique (Koshy et Ganguly, 1969), (Marchand, 1972) ou l'hydrolyse. Guéguéniat (1971) expérimentant sur un des principaux pollunats rejetés par les usines de traitement des combustibles irradiés, le ruthénium, a établi un schéma illustrant ces évolutions :

Ru sol ⇆ A ⇄ B ⇄ C ⇆ Monomères ⇄ Polymères
formes solubles — produits d'hydrolyse — formes insolubles

A - fortement solubles
B - moyennement solubles
C - peu solubles.

Le pouvoir contaminant de ce radionucléide varie selon ses formes physico-chimiques ou leur évolution. Keckes *et al.* (1967) montrent que le ruthénium sous forme de complexes chlorés est accumulé par la moule *(Mytilus edulis)* plus fortement que sous formes nitriques. Ces résultats sont confirmés par Kimura et Ishikawa (1970) pour *Tapes*. D'autre part les composés nitriques du ruthénium sont constitués, d'une part, de nitrocomplexes peu hydrolysables en milieu marin qui donnent des formes stables solubles et, d'autre part, de nitratocomplexes instables avec des formes solubles (anioniques, cationiques et neutres) et des formes insolubles. Le pouvoir contaminant chez la moule est 3 à 10 fois plus élevé pour les formes insolubles des composés polymérisés (colloïdes) surtout cationiques, Guéguéniat *et al.*, 1969 ; Vilquin, 1969 ; Fraizier, 1974 ; Guéguéniat 1975.

Ces différences de contamination dues à la nature physico-chimique sont connues pour d'autres polluants. Le chrome 51, par exemple, introduit dans le milieu marin sous forme de chlorure chromique trivalent se présente à l'état insoluble et s'adsorbe rapidement en surface chez *Tapes decussatus*, alors que sous forme de chromate hexavalent (anionique) il pénètre lentement dans les parties molles (Chipman, 1966)

Pour des éléments à rôle physiologique connu comme le fer, le phenomène est comparable — Fraizier (1973) étudiant la concentration du $^{59}$Fe par la moule montre que les formes insolubles sont plus concentrées dans les divers organes de l'animal que les formes solubles. Dans le cas du cobalt la forme organique (Cobalamine ou Vit. B 12) est plus facilement concentrée que la forme ionique par *Donax denticulatus*, Lowman *et al.*, 1973.

2. **Paramètres physiologiques**

a) *Contamination et décontamination :* les mollusques pélécypodes filtreurs pompent afin d'assurer leur nutrition des quantités d'eau considérables, 12 à 18 l/h pour les huîtres, 2 à 6 l/h pour les moules (chiffres I.S.T.P.M.). Dans un gisement d'une superficie de 50 ha les huîtres pompent 140 m$^3$/s, selon un calcul de Khalanski (1975). Tous les états poss.bles des radionucléides définis par Robertson (1971) sont susceptibles d'être retenus par les organismes filtreurs ; en effet, si les pelécypodes sont avant tout des phytoplanctonophages, ils peuvent néanmoins se nourrir en l'absence totale de phytoplancton comme c'est le cas des moules dans certaines zones portuaires particulièrement polluées. Ils peuvent aussi se nourrir exclusivement de bactéries (Zabell *et al.*, 1937), ou dès le stade larvaire absorber des particules détritiques (Masson, 1975). D'autre part, ils peuvent absorber des produits dissous ou colloïdaux par pinocytose des cellules de la glande digestive (Owen, 1955) mais aussi par pinocytose au niveau des cellules épithéliales des branchies et du manteau (Nakahara et Bevelander, 1957 ; Péquignat, 1973 ; Masson, 1975 ; George *et al.*, 1976).

Cette particularité physiologique est à rapprocher de l'organotropisme observé au cours de contaminations artificielles. Ainsi Pentreath (1973) examinant l'accumulation du $^{65}$Zn, $^{54}$Mn, $^{58}$Co, $^{59}$Fe chez la moule, trouve l'ordre décroissant suivant la contamination pour les organes étudiés : glande digestive > branchies > pied > manteau > gonade > muscle adducteur. Pomeril (1973) fait des observations similaires pour le $^{65}$Zn chez *Crassostrea angulata* et *Ostrea edulis*, Bryan (1973) pour *Pecten maximus* et Fraizier (1974) pour $^{54}$Fe chez *Mytilus edulis*. Selon Polikarpov (1964) les radiocontaminants seraient accumulés à partir de l'eau plutôt que par le vecteur aliment

Cependant les études menées expérimentalement par Borough *et al.* (1957) ont montré que les huîtres nourries avec du phytoplancton contaminé au $^{89}$Sr présentent un niveau de contamination plus élevé que celles laissées à jeun De même Pentreath (1973) étudiant les concentrations de $^{65}$Zn, $^{54}$Mn, $^{58}$Co et $^{59}$Fe, chez la moule, montre que le vecteur principal de la contamination est la nourriture et que le transfert à partir de l'eau est secondaire. En milieu naturel, il est difficile de déterminer la part de transfert du polluant revenant au phytoplancton de celle due aux matières détritiques ou sédimentaires en suspension Le phytoplancton ainsi que les sédiments fins (Guéguéniat et Baron, 1975) sont reconnus comme susceptibles de fixer des taux importants de radioactivité. Ceci peut expliquer que le cobalt provenant des rejets de centrales nucléaires se fixe sur les clams *(Mercenaria mercenaria)* 5 fois plus en milieu turbide qu'en eau filtrée (Harrison, 1975). De même Kimura et Ichikawa (1970) constatent que la contamination par le Ru de la chair de *Tapes japonica* est moins élevée en eau filtrée qu'en présence de sédiments, ceux-ci jouant le rôle de vecteur de radioactivité, particulièrement pour les organes de la filtration.

En ce qui concerne les paramètres propres à l'organisme, il y a lieu de tenir compte du rôle particulier des mucus. Celui-ci est un film poreux de mucopolysaccharides (Jorgensen et Goldberg, 1953) qui selon Korringa (1952) accumule, chez l'huître, les ions polyvalents positifs $Al^{+++}$, $Cu^{++}$, $Fe^{++}$, $Zn^{++}$, $Hg^{+}$ et $Mn^{++}$. Pentreath (1973) signale que le mucus accumule les formes particulaires, mais aussi les formes dissoutes, quelquefois préférentiellement. Selon Fraizier (1974), par contre, le mucus pourrait avoir un rôle auto-épurateur en favorisant une solubilisation et une élimination d'une partie des radionucléides avec les pseudofécès ; ceci est à rapprocher de l'action de certains composés organiques comme l'acide citrique dont la teneur peut atteindre jusqu'à 13 ppm dans l'eau intervalvaire des huîtres et qui solubilise les hydroxydes colloïdaux du ruthénium (Belot *et al.*, 1968)

Les mécanismes qui permettent aux mollusques de concentrer considérablement certains métaux sont assez mal connus

Certains organes ou structures cellulaires de transport ou de stockage ont cependant été mises en évidence Si une grande partie du polluant semble à l'état diffus dans l'hémolymphe, notamment au niveau des sinus pédieux dans le cas du fer chez la moule (Pentreath, 1973), il apparaît que les éléments figurés du sang, comme les cellules basophiles présentent des structures granulaires de stockage du zinc et du cuivre. Ruddel (1971), Ruddel *et al.* (1975) établissant une corrélation entre le nombre de cellules basophiles et la concentration en zinc ou en cuivre des huîtres. Certaines cellules de la glande digestive contiennent des organites de stockage du fer chez la nucule (Owen, 1956) et chez la moule (Hobder, 1967) ces organites sont très comparables aux phagolysosomes des cellules digestives et épithéliales

Les mollusques, comme les autres organismes, peuvent se décontaminer, lorsqu'ils se trouvent déplacés d'un milieu pollué dans un milieu normal.

La décontamination, souvent plus lente que la contamination, est comme celle-ci en rapport avec la forme physico-chimique du polluant et évalué par la période biologique de l'organisme, temps nécessaire pour que la moitié du contaminant soit éliminée de l'animal. Ainsi la période biologique du méthyl-mercure est de 480 jours chez *Tapes* et de plusieurs années chez la moule ; la période biologique du mercure non méthylé est beaucoup plus courte : 100 jours chez Tapes (Miettinen et al., 1972). La période biologique du zinc est de 1.000 jours dans le muscle de l'huître (Preston et Jefferies, 1969).

Cunningham et Tripp (1973) ont observé que la concentration en mercure dans les tissus de Crassostrea décroissait seulement pendant les 18 à 30 premiers jours de décontamination ; elle est demeurée constante pendant les 160 jours suivants sur lesquels a porté l'expérimentation.

La décontamination peut s'effectuer selon trois processus d'excrétion, selon Bryan (1971) :

a) à travers la surface du manteau et des branchies par suite du phénomène de diffusion ou d'exocytose ;

b) par le tractus digestif ;

c) par l'urine.

L'élimination du plomb par l'urine, après stockage dans le rein (50 à 70 %, du plomb total de l'organisme) a été mise en évidence par Schutz-Baldes (1974) chez la moule. Hobden (1969) a montré à l'aide d'autoradiographies que le fer suivait le même processus, ainsi que Van Weers (1973) pour le zinc et le cobalt.

Il est à remarquer que les cinétiques de décontamination peuvent présenter plusieurs phases. Fraizier (1973) en détermine deux pour le $^{59}$Fe et Van Weers trois pour le $^{65}$Zn (1973) chez la moule, Granmore et Harrison (1975) trois pour le $^{137}$Cs et deux pour le $^{60}$Co chez *Crassostrea gigas*. Les premières phases concerneraient des formes non assimilées et rejetées avec les pseudofeces ou facilement désorbées. Les autres phases correspondraient à l'élimination des formes insolubles fortement liées ou à des formes solubles réellement métabolisées, éliminées au fur et à mesure des turn-over biochimiques de l'animal.

b) *Signification de l'accumulation :* les affinités des mollusques pour certains métaux s'expliquent mal dans un concept de « demande biologique ». Ce phénomène peut être illustré par le cas du zinc chez l'huître. Les huîtres *Crassostrea virginica* (Wichmann, 1919 ; Bodansky 1920 ; Galtsoff, 1953 ; Mc Fanen *et al.*, Pringle *et al.*, 1968 ; Wolfe, 1970) ; *Crassostrea gigas* (Pringle *et al.*, 1968 ; Wolfe, 1974 ; Nelson et Gayette, 1976) ; *Crassostrea angulata* (Romeril, 1971) ; *Ostrea sinuata* (Brooks et Rumsky, 1965 ; Ikuta, 1968) ; *Ostrea edulis* (Preston, 1966 ; Romeril, 1971), présentent toutes la particularité de concentrer le zinc à des teneurs beaucoup plus importantes que les autres espèces de pélécypodes. Les teneurs moyennes sont de 100 à 500 µg/g et peuvent atteindre (Nelson et Goyette, 1976) 20.000 µg/g (de poids frais) chez des huîtres vivant dans une zone contaminée par des effluents d'usines de pâte à papier utilisant de l'hydrosulfite de zinc comme agent blanchissant, et Waldichuck (1974) signale des F.C. de 150 à 300.000.

Quelques années après la mise en fonctionnement du réacteur de Handford (U.S.A.) des traces de $^{65}$Zn ont été décelées dans les huîtres de l'estuaire de la Columbia River, à 500 km de l'émissaire Nous avons effectué des observations similaires (Germain et Masson, inédit) en ce qui concerne les huîtres de Saint Vaast, dans la Manche qui, depuis 1976, présentent des traces de zinc 65 (450 pCi/kg frais) alors que l'usine de retraitement de La Hague (située à 50 km) rejette ce produit, en très faible quantité, depuis deux ans seulement.

Comme plusieurs autres métaux de transition (Fe, Mn...) le zinc joue un rôle dans les systèmes enzymatiques. Chez les huîtres, neuf métalloenzymes du zinc ont été déterminés dans l'anhydrase carbonique, la phosphatase alcaline, la carboxypeptidase A, la deshydrogénase malique (Wolfe, 1970 ; Coombs, 1972) et l'α-D-mannosidase (Coombs, 1972). Il est à remarquer, par ailleurs, que seules les huîtres adultes contiennent une forte quantité de zinc dans leurs tissus. Ce pouvoir d'accumulation se développe chez le naissain, 50 à 100 jours après sa fixation (Georges et Coombs, 1975). Ce phénomène est en corrélation avec l'augmentation des activités métaboliques et avec l'apparition des métallo-enzymes du zinc. Il faut cependant noter que les quantités de zinc nécessaires à l'activation de ces enzymes sont sans commune mesure avec les quantités considérables du métal présent dans les tissus (Pequegnat, 1968 ; Wolfe, 1970 ; Coombs, 1972).

Le zinc se trouve dans les tissus de l'huître sous deux formes : soit soluble (Romeril, 1971 ; Coombs, 1972) soit fixée aux membranes et organites cellulaires et nucléaires (Coombs, 1972) ; la fraction soluble se trouverait sous forme de complexe moléculaire de faible poids comme la taurine, lysine, A-T-P, homarine, et serait une réserve facilement échangeable, assurant une saturation constante des sites enzymatiques (Coombs, 1972). Cet auteur a montré (expérimentalement) que le zinc activait les métallo-enzymes ; cependant Wolfe (1972) a montré que l'excès de zinc pouvait être éliminé sans modifier l'activité enzymatique. L'excès de zinc assurerait un maximum d'activité et d'efficacité, notamment lors de l'action de l'anhydrase carbonique dans la formation de la coquille. D'autre part, Coombs émet l'hypothèse d'une compétition entre le calcium et le zinc, comme cela existe dans d autres phyllums. Enfin, il faut noter que Istin (1970) a montré que le zinc était lié ainsi que l'anhydrase carbonique, à des structures de réserves du calcium sous forme de microgranules, dans le manteau d'Anodontes. Ces microgranules n'ont pas été mis en évidence chez les mollusques marins, à notre connaissance. Les rapports soupçonnés entre zinc-calcium-enzymes de la calcification et les mécanismes qui les régulent restent à démontrer.

Noël-Lambot (1976) a récemment montré que le Zn, le Co et le Cd semblaient liés chez la moule à des protéines de haut poids moléculaire. Par contre, au cours de contaminations chroniques par le Cadmium, la moule semble capable de synthétiser des protéines de faible poids moléculaire, ligands du Cd voisines des métallothionéines des vertébrés et qui auraient un rôle dans la protection de l'organisme vis-à-vis de la toxicité du cation

Diverses observations montrent que si le zinc est l'élément trace dominant chez l'huître, pour le pecten c'est le manganèse et pour la moule le fer. On ne peut cependant formuler d'explication sur cette discrimination.

En dehors de ce qui peut être rapporté à une activité métabolique, il apparaît que divers métaux stables ou radioactifs présentent des affinités pour certaines structures propres aux mollusques. La conchyoline, protéine du périostracum, aurait un rôle spécifique dans l'absorption du cobalt 60. Les structures du byssus et du bord de la coquille de la moule favorisent l'absorption du ruthénium (Van de Borgh, Van Puymbroeck, 1970) du plutonium et autres radionucléides (Fowler *et al.* 1975). La glande byssogene incorporerait à la matrice collagénique des filaments certains radioéléments concentrés par l'animal (Pentreath, 1973 ; Fretter, 1953 ; Fowler *et al.*, 1975).

### 3. Paramètres écologiques

Les mollusques pélécypodes vivent dans des biocénoses intertidales aux facteurs écologiques très variables

et il y a lieu de tenir compte à cet égard de ce que les variations de salinité jouent un rôle primordial dans l'accumulation des éléments traces et des radio-isotopes en modifiant les échanges ioniques.

Selon Duke *et al.* (1969) les F.C. du $^{65}Zn$ chez les mollusques varient en fonction inverse de la salinité. De même, Wolfe et Coburn (1970) indiquent que les F.C. du $^{137}Cs$ chez *Rangia cuneata*, vivant en milieu esturien, décroissent avec une augmentation de la salinité de 1 à 20 ‰. On sait, d'autre part, que la fixation du $^{137}Cs$ se révèle plus importante pour les espèces d'eau douce que pour les espèces marines (Avargues *et al.*, 1973). On attribue cette différence de contamination aux compétitions ioniques existant entre des ions ayant des propriétés voisines comme caesium/potassium, ou strontium/calcium. Van der Borgh et Van Puymbroeck (1970) constatent que l'absorption du $^{106}Ru$ est plus rapide à 15° C qu'à 5° C.

Duke *et al.* (1969) observent une augmentation de la quantité de $^{65}Zn$ proportionnelle à l'élévation de température entre 20 et 25° C chez l'huître, le clam, la coquille ques, du $^{40}K$ et du $^{14}C$. Toutefois, en raison du pouvoir de concentration élevé que possèdent certains organismes, notamment les mollusques, il n'est pas exclu que la contamination radioactive n'entraîne des effets au niveau de certains tissus ou organes fixateurs. Certaines études expérimentales menées pour évaluer la radiosensibilité des mollusques ont consisté à les élever en présence d'une source d'irradiation (bombe au cobalt ou générateur de rayons X, irradiation externe chronique ou aiguë) ou dans une eau fortement contaminée par des radio-isotopes (irradiation interne et externe chronique). Baptist, Wolfe et Colby (1976) étudiant l'action d'irradiations chroniques pour des doses allant de 0,007 rads/h (débits de dose 5 à 10 % supérieurs à celui de la radio-activité naturelle) jusqu'à 37 rads/h sur des jeunes naissains de *Mercenaria mercenaria* et *Argopecten irradians*, pendant 3 à 14 mois. Des effets notables sur la croissance et la survie n'ont eu lieu qu'aux plus fortes irradiations (16 à 37 rads/h) et seulement chez les clams Aucun effet n'a été noté pour une dose cumulée annuelle de 8.000 à 8.800 rads, ce qui correspond à 200.000 fois la dose maximum annuelle reçue

| Radioélément | Débit de dose/µrad $h^{-1}$ | | |
|---|---|---|---|
| | Mollusques | Crustacés | Poissons |
| $^{137}Cs$ | 5,9 | 5,9 | 3,3 |
| $^{144}Ce$ - $^{144}Pr$ | 170 | 170 | 1,7 |
| $^{90}Sr$ - $^{90}Y$ | 1,2 | 1,2 | 0,1 |
| $^{103}Ru$ - $^{106}Rh$ | 1 500 | 150 | 0,73 |
| $^{95}Zr$ - $^{95}Nb$ | 260 | 80 | 0,49 |
| $^{32}P$ | 1,8 | 1,8 | 3,6 |
| $^{35}S$ | — | — | — |
| $^{60}Co$ | 0,25 | 0,4 | 0,05 |
| $^{65}Zn$ | 12 | 0,5 | 0,3 |

**Tableau 2. — Débits de doses (µrad/h) reçues par les organismes benthiques vivant auprès de l'émissaire de Windscale (Woodhead, 1971).**

Saint-Jacques. Fraizier (1974) indique que la chair de moule est plus contaminée pour le $^{59}Fe$ à 15° C qu'à 5° C et Wolfe et Coburn observe le même phénomène à propos de la contamination de *Rangia cuneata* par le $^{137}Cs$.

Deux phénomènes semblent entrer en jeu, une stimulation du métabolisme animal et une intensification de la fixation physico-chimique du polluant.

Par ailleurs, le pH peut avoir un rôle sur l'accumulation d'un radiocontaminant. A pH 8, les facteurs de concentration du $^{65}Zn$ sont plus élevés qu'à pH 7,5 (Duke *et al.*, 1969). La teneur du milieu en isotope stable du radioélément peut entraîner un phénomène de dilution isotopique (Duke *et al.*, 1969), par exemple la contamination en zinc radioactif est plus élevée pour des faibles concentrations de zinc stable dans le milieu (Duke *et al.*, 1969). La lumière abaisse le facteur de concentration du $^{59}Fe$ chez la moule (Fraizier, 1974 - F.C. = 109 à 15° C en éclairement normal - F.C. = 124 à 15° C à l'obscurité).

## III. EVALUATION DE L'EVENTUEL IMPACT DE LA RADIOACTIVITE SUR LES MOLLUSQUES

Les effets que pourraient avoir sur les mollusques les rejets de produits radioactifs ont fait l'objet de très peu d'investigations. En effet, il est admis que l'homme est l'espèce la plus radiosensible. En principe on peut donc considérer que si les niveaux de radioactivité dus à l'utilisation de l'énergie atomique sont pour l'homme en deçà des normes prescrites par les instances compétentes, les autres espèces ne sont pas menacées. La dose admise pour la population humaine est de 5 rems en 30 ans, ce qui est l'équivalent de la dose moyenne reçue naturellement à partir du sol, des rayons cosmi-

par les mollusques vivant dans le rejet d'une centrale électronucléaire de type américain rejetant 5 curies/an hors tritium (Baptist *et al.*, 1976). Price (1965) a déterminé les pourcentages de mortalité journalière cumulée après une irradiation aiguë produite par une source au cobalt délivrant 350.000 roentgens/h. Il résulte de ces diverses données que pour une dose cumulée de 140.000 rads, la L D 50 (50 % de mortalité) est de 6,5 jours pour une irradiation aiguë (Price, 1965) et de 159 jours pour une irradiation chronique (Baptiste *et al.*, 1976). Williams et Murdock (1973) n'ont pas pu déterminer d'effet dû à l'irradiation sur des mollusques exposés pendant 1 an à des débits de doses de 2,1 à 3,3 rads/h. Au contraire, pour les faibles irradiations (0,007 à 0,008 rads/h) Baptist *et al.* (1976) observent une stimulation de la croissance.

Il est bien connu que les gamètes ou les jeunes stades des organismes sont particulièrement radiosensibles. Nelson (1968) a étudié l'impact des radiations sur les larves de *Crassostrea gigas*, soit à l'aide d'un générateur de rayons X, soit par contamination radio-isotopique des eaux d'élevage.

En ce qui concerne ce dernier mode d'expérimentation, l auteur obtient des larves par fécondation artificielle des gamètes et les élève dans une eau contaminée par divers mélanges de radio-isotopes. Il obtient un pourcentage significatif de larves anormales (malformations anatomiques) pour un débit de dose de 1 rad/ 48 h déterminé par un niveau de radioactivité du milieu de $10^{-4}$ Ci/l d'un mélange $^{65}Zn + ^{51}Cr$ ou bien de $10^{-3}$ Ci/l de $^{90}Sr + ^{90}Y$. Pour un débit de dose de 8 rads/48 h ($10^{-3}$ Ci/l de $^{65}Zn$), le taux de formes anormales est de 100 %. Par contre, il est nécessaire de soumettre les gamètes à une dose de 10 rads pour

obtenir des malformations larvaires à l'aide d'une irradiation externe aiguë aux rayons X. Ces doses n'affectent toutefois ni la survie, ni le taux de croissance des larves pendant les 48 heures de l'expérimentation. Il y a lieu d'ajouter qu'une dose de 8 à 10 rads correspond à $10^8$ fois celles déterminées dans les biocénoses à mollusques (Willapa bay) contaminées par le $^{65}Zn$ provenant des rejets de Handford (U.S.A.).

Woodhead (1971) a mesuré les doses de rayonnements reçues par les organismes benthiques vivant au niveau de l'émissaire des effluents radioactifs provenant de l'usine de traitement des combustibles irradiés de Windscale (G.-B.)

On note que les mollusques sont les plus exposés à cause de leur fort pouvoir de concentration des isotopes rejetés (tableau 3)

transfert de radioactivité vers l'homme par suite de leur utilisation au point de vue alimentaire.

Un exemple de leur rôle d'indicateur biologique est fourni par les observations de Patel (1975) et Patel *et al.* (sous presse) concernant l'espèce *Anadora granosa* dont les niveaux de radioactivité semblent refléter fidèlement les fluctuations des quantités de $^{137}Cs$ rejetées par l'usine nucléaire de Trombay (Inde). Par ailleurs, les pélécypodes peuvent être des vecteurs de contamination envers les autres organismes du milieu, plus particulièrement leurs prédateurs. Ainsi les étoiles de mer ont une radioactivité de par le plutonium 4 fois supérieure à celle des moules dont elles se nourrissent (Noshkin, 1972). En fait, les chaînes alimentaires benthiques à mollusques ont fait l'objet de très peu de travaux. Ils peuvent aussi avoir un rôle important dans les cycles biogéochimiques des polluants en les accumulant dans les zones sédi-

| | Radioélément | Sédiments | Algues | Mollusques | Crustacés | Poissons |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Produits de fission | $^{137}Cs$ | $5 \times 10^2$ | 10 | $10^3$ | $10^3$ | 50 |
| | $^{144}Ce$ | $10^4$ | $10^3$ | $10^3$ | $10^3$ | 10 |
| | $^{90}Sr$ | 1 | 1 | 10 | 10 | 1 |
| | $^{106}Ru$ | $10^4$ | $2 \times 10^3$ | $2 \times 10^3$ | $2 \times 10^2$ | 1 |
| | $^{95}Zr$ - $^{95}Nb$ | $10^4$ | $5 \times 10^2$ | $10^3$ | $2 \times 10^2$ | 1 |
| Produits d'activation | $^{32}P$ | $10^4$ | $10^4$ | $10^4$ | $10^4$ | $2 \times 10^4$ |
| | $^{35}S$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | $^{60}Co$ | $10^4$ | $10^3$ | $10^3$ | $10^3$ | $10^2$ |
| | $^{65}Zn$ | $10^4$ | $10^3$ | $10^5$ | $4 \times 10^3$ | $2 \times 10^3$ |

**Tableau 3. — F.C. des radio-isotopes rejetés à Windscale, d'après Woodhead (1971).**

Woodhead (1971) a déterminé que *Nucula sp.* et *Cultellus sp.* enfouis dans la vase près du point de rejet reçoivent des débits de doses de 18 mrads/h par irradiation externe à partir du sédiment et de 2 mrads/h par irradiation interne (contamination). Le débit de dose total de 20 mrads/h est 2.000 fois supérieur à la dose reçue naturellement (5 à 10 µrads/h). Il est par contre inférieur d'un facteur 1.000 aux irradiations nécessaires pour observer des effets chez l'adulte (Baptist *et al.*, 1976). Cependant on note que le débit de 20 mrads/h (soit 0,960 rads/48 h) est voisin de celui nécessaire (1 rad/48 h) pour obtenir un pourcentage significatif de larves anormales chez les huîtres (Nelson, 1970)

Les constatations effectuées à Windscale conduisent à estimer, selon Woodhead (1971), que les rejets radioactifs effectués dans ce secteur demeureraient sans effet appreciable d'un point de vue écologique sur les peuplements marins. Nos connaissances sont cependant insuffisantes pour juger des impacts possibles à un niveau cellulaire et subcellulaire (Bittel et Magnavol, sous presse) ceci aussi bien pour les mollusques que pour les autres organismes (Pentreath, 1975) Les données actuellement disponibles font état d'effets histopathologiques chroniques dans les tissus de l'intestin, de la glande digestive et des branchies chez *Crassostrea virginica*, consécutifs à une irradiation de 10.000 rads (Mix, 1972), ainsi que des modifications du spectre d'absorption de l'oxyhémoglobine érythrocytaire du bivalve *Anadora granosa* à partir de 4.600 rads (Patel et Patel, 1971).

## IV. ROLE DES MOLLUSQUES DANS LES TRANSFERTS DES RADIOELEMENTS

En raison de leur capacité de fixation des éléments à l'état de traces, dont les radionucléides, les mollusques se révèlent être de bons indicateurs de distribution des polluants. Ils peuvent jouer, d'autre part, un rôle de

mentaires dans leur fécès et pseudo-fécès (Polikarpov, 1964 ; Andrews et Waren, 1964 ; Boothe et Knauer, 1972 ; Lowman *et al.*, 1971). Ils forment après leur mort des vases ou des sables coquilliers qui seront chargés de la radioactivité concentrée au niveau des coquilles et particulièrement si celles-ci ont été contaminées par des éléments à longue période comme le plutonium.

Mais c'est surtout pour leur rôle dans les transferts des radio-isotopes vers l'homme et pour les problèmes de protection que les mollusques pélécypodes ont retenu l'attention. Les mollusques comestibles se révèlent être les organismes critiques des contaminations dans l'environnement de certaines centrales électronucléaires marines C'est le cas par exemple de l'huître dans le secteur de la centrale de Bradwell en Angleterre. Cette usine est située sur l'estuaire de la Blackwater, dans une zone ostréicole, principal mode d'exploitation du milieu. Les études réalisées jusqu'en 1974 dans l'estuaire suggèrent que la majeure partie du $^{65}Zn$ rejeté est piégée par les sédiments fins (Preston, 1968) lesquels ont la possibilité d'être recyclés par les huîtres *(Ostrea edulis, Crassotrea gigas)* (Preston, 1974). Le facteur limitant au point de vue du retour vers l'homme est lié à la consommation des huîtres contaminées, et les paramètres critiques sont résumés de la façon suivante (Preston, 1968, 1974) :

| | |
|---|---|
| Facteur de dilution ..... | 10 |
| Concentration dans l'eau par curie rejeté et par jour ..... | $10^{-7}$ pCi/ml |
| Radionucléide ..... | $^{65}Zn$ |
| Matériel . . . . . | chair de l'huître |
| F.C. ..... | $10^5$ |
| Organe critique chez l'homme .. | totalité du corps |
| Taux d'ingestion ..... | 75 g/i |

On considère que les personnes du public consomment 75 g par jour d'huîtres provenant d'un lieu de

culture proche du rejet reçoivent 0,2 % de la dose limite admise pour l'organisme entier et 0,08 % pour le tractus intestinal (Preston, 1968, 1974 ; Foster *et al.*, 1971) Par suite de modifications récentes dans les rejets l'argent s'est partiellement substitué au zinc en tant que radionucléide critique.

## CONCLUSION

La grande majorité des travaux que nous avons consultés pour établir ce rapport ont trait à l'étude de la concentration par les mollusques des éléments radioactifs à l'état de traces dans le milieu marin, et à l'établissement des facteurs de concentration. Le fait que les mollusques concentrent très activement les éléments traces est maintenant bien établi, mais les mécanismes d'ordre chimique, biochimique ou physiologique de cette concentration sont loin d'être élucidés. Ce pouvoir de concentrer des micropolluants qu'ont les mollusques, conjugué à l'augmentation des quantités d'éléments stables et radioactifs rejetés dans le milieu par les industries, peut ne pas être sans danger pour l'intégrité biologique et écologique de certaines espèces Cependant, en ce qui concerne la radioactivité, il apparaît que l'état actuel des rejets ne présente pas de risque pour les mollusques à cause de leur radiorésistance élevée et malgré des facteurs de concentration importants. Ceci n'est peut-être déjà plus le cas pour les métaux lourds stables dont les teneurs dans le milieu sont de plusieurs ordres de grandeur supérieurs à celles des polluants radioactifs. Du fait de leur F.C., les mollusques sont de bons indicateurs des niveaux de pollution. Ils jouent, par ailleurs, un rôle important dans les transferts de radiocontaminant, dans la chaîne alimentaire, ce qui est à considérer plus particulièrement pour les radio-isotopes concentrés par les mollusques consommés par l'homme.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


ABDULLAH M.I., ROYLE L.G. et MORRIS A.W., 1972. — *Heavy* metal concentration in coastal waters. *Nature,* 235, 158-160

ANCELLIN J., GUEGUENIAT P. et GERMAIN P., 1976. — La pollution radioactive en milieu marin. C.E.A. Département de Protection. Sous presse

ANCELLIN J., AVARGUES M., BOVARD P., GUEGNENIAT P. et VILQUIN A., 1973 — Aspects biologiques et physico-chimiques de la contamination radioactive d'espèces marines et de sédiments marins In : *Radioactive contamination of the marine environment*. I.A.E.A. Vienne, 225-242

ANDREWS H.L. et WARREN S., 1964. — Ion scavenging in the eastern clam and quahog *Health phys.,* 17, 807-810.

AVARGUES M., FOULQUIER L. et VILQUIN A., 1973. — Etude comparée de la contamination expérimentale de mollusques lamellibranches marins et dulcicoles par le caesium 137. *Radioprotection,* 8 (1) : 19-32.

BAPTIST J.P., WOLFE D.A. et COLBY D.R., 1976. — Effects of chronic gamma radiation on the growth and survival of juvenile clams (*Mercenaria mercenaria*) and scallop (*Argopectens irradians*). *Health phys.,* 30 (1) : 79-83.

BELOT Y. et PIGNON N., 1968. — Comportement du nytrosil-ruthénium dans une eau de surface simulée en présence de chélatants naturels. *Health phys.,* 15, 443-450

BERNHARD M., 1968. — Research on the metabolism of some radioactive element in the marine environment. *Rev. int. Oceanogr. Med.,* 11, 19-59

BITTEL R. et MAGNAVAL R., 1975 — Microlocalisation des radionuclé des artificiels et radioprotection du milieu. In : *Intern conf. on Molecular and microdistribution of Radioisotopes and Biological Consequences. Julial.* Sous presse

BODANSKY M., 1920. — Biochemical studies on marine organisme II. The occurence of zinc. *J. Biol. Chem.,* 44, 399-407.

BOOTHE P.N. et KNAUER G.A., 1972. — The possible importance of fecal material in the biological amplification of trace and heavy metals. *Limnol. Oceanogr.,* 17, 270-274

BOROUGH H., CHIPMAN W.A. et RICE T.R., 1957. — Laboratory experiments on the uptake accumulation and loss of radionuclides by marine organisms. In : The effects of atomic radiations on oceanography and fisheries. *Nat. Acad. Sci.,* N.R.C., Washington D.C., 551

BOYDEN C.R., 1974. — Trace element content and body size in molluscs. *Nature,* 251 (5473) : 311-314.

BOYDEN C.R., 1975. — Distribution of some trace metals in Poole Harbour, Dorset. *Mar. Poll. Bull.,* 6 (12) : 180-186

BROOKS R. et RUMSBY M.G., 1965 — The biogeochemistry of trace element uptake by some New Zealand bivalves *Limnol.* Oceanogr. 10, 521-527.

BRYAN G.W., 1963. — The accumulation of radioactive caesium by marine invertebrates *J. mar. biol. Ass. U.K.,* 43 (2) : 519-539

BUTTERWORTH J., LESTER P. et NICKLESS G., 1972. — Distribution of heavy metals in the Severn estuary. *Mar. Poll. Bull.,* 3 (5) : 72-74.

CHIPMAN W.A., 1966. — Uptake and accumulation of chromium 51 by the clam *Tapes decussatus* in relation to physical and chemical form. In : *Radioactive wastes into Seas, Oceans and surface waters. I.A.E.A. Vienne,* 571-582

COOMBS T.L., 1972. — The distribution of zinc in the oyster *Ostrea edulis* and its relation to enzymic activity and the other metals *Mar. Biol.,* 12, 170-178.

CUNNINGHAM D.A. et TRIPP M.R., 1973. — Accumulation and depuration of mercury in the american oyster *Crassostrea virginica Mar. Biol.,* 20, 14-19.

DUKE T., WILLIS J., PRICE T. et FISCHER K. 1969. — Influence of environmental factors on the concentrations of $^{65}Zn$ by on experimental community. Symposium on radioecology. *Proceedings of the second national symposium Ann Arbor,* Michigan, May 15-17, 1967, U.S.A.E.C. Conf 670503, 355-362.

ELDERFIELD H., THORNTON L. et WEBB J.S., 1971. — Heavy metals and oyster culture il wales. *Mar. Poll. Bull.,* 2, 44-47

FOSTER R.F., OPHEL J.L. et PRESTON A., 1971. — Evaluating of human radiation exposure. In : *Radioactivity in the marine environment, Nat. Acad. of sciences, Washington,* 10, 240-260.

FOWLER S., HEYRAUD M. et BEASLEY T.M., 1975. — Experimental studies on plutonium Kinetics in marine biota. In : *Impacts of Nuclear Releases into the aquatic environment, Otaniemi. I.A.E.A. Vienne,* 157-177

FOWLERS S. et OREGIONI B., 1975. — Heavy metals in mussels from the north western mediterranean sea. In : *C.I.E.S.M. IIe Journées d'Etudes sur les pollutions marines,* 179-180.

FOWLER S. et OREGIONI B., 1976. — Trace metals in mussels from the N.W. Mediterranean. *Mar. Poll. Bull.,* 7 (2) : 26-29

FRAIZIER A., 1974 — Contribution à l'étude de la contamination des constituants du milieu marin par des formes solubles et insolubles des radionucléides *Thèse doc. d'Université.* Caen

FUKAI R. et LANG HUYNH-NGOC, 1968. — Studies on the chemical behaviour of radionuclides in sea water. *Radioactivity in the sea. Publ. nº 22 I.A.E.A. Vienne,* 26 p.

GALTSOFF P.S., 1953. — Accumulation of manganese, iron, copper and zinc in the american oyster *Crassostrea virginica ; Anat. Rec.,* 117, 601-602

GEORGE S.G. et COOMBS T.L., 1975. — A comparison of trace metal and metalloenzyme profils in different molluscs and during development of the oyster. In : *Barnes H. éditeur. Ninth European Marine Biology symposium, OBAN Scotland,* 2-8 Oct. 1974, 433-444.

GILLES R., 1975. — Mechanisms of iono and osmoregulation. In : *Marine ecology, Kinne O. edit.,* Interscience, New York, 2 (1) : 259-347

GRANMORE G. et HARRISON F.L., 1975. — Doss of $^{137}Cs$ and $^{60}Co$ from the oyster *Crassostrea gigas Health phys.,* 28 (4) : 319-333.

GUEGUENIAT P., BOVARD P. et ANCELLIN J., 1969 — Influence de la forme physico-chimique du ruthénium sur la contamination des organismes marins *C. r. hebd. Acad. Sci.* Paris, 268, 976

GUEGUENIAT P., 1971. — Etude de la physico-chimie du ruthénium dans l'eau de mer. *Rapport C.E.A. R. 4135,* 43 p.

GUEGUENIAT P., BARON Y. et AUFFRET J.P., 1976. — Note sur l'évolution de la radioactivité artificielle dans les sédiments de la Manche pendant les années 1971-1975. Rapport C.E.A. R. 4739

HARRISSON F.L., 1973. — Accumulation and loss of cobalt and caesium by the marine clam, *Mya arenaria,* under laboratory and field conditions. In : *Radioactive contamination of the Marine Environment. I.A.E.A. Vienne,* 473-478.

HILTNER R.S. et WICHMAN H.J., 1919. — Zinc in oysters. *J. Biol. chem.* 38. 255-221

HOBDEN D.J., 1967. — Iron metabolism in *Mytilus edulis.* 1. Variation content and distribution. J. mar. biol. Ass. U.K., 47 (3) : 597-606

HOBDEN D.J., 1969. — Iron metabolism in *Mytilus edulis.* 2. Uptake and distribution of radioactive iron. J. mar biol. Ass U.K., 49 (3) : 661-668

KUTA K., 1968. — Studies on accumulation of heavy metals in aquatic organisms. I on disappearance of abnormally accumulation of copper and zinc in oysters. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish,* 34, 112-116.

ISTIN M., 1970. — Rôle du manteau dans le métabolisme du calcium chez les lamellibranches. *B.I.S.T.,* 144, C.E.A., 53-60.

JORGENSEN C.B. et GOLDBERG E.D., 1953. — Particle filtration in some Ascidians and lamellibranche. *Biol. Bull. mar. biol. Lab Woods Hole,* 105, 477-489

KECKES S., PUCAR Z. et MARAZOVIC L., 1969. — Accumulation of electrodialytically separated physico chemical forms of $^{106}Ru$ by mussels *Int. J. Oceanol. Limnol.,* 1, 246-253.

KHALANSKI M., 1975. — Transfert de la radioactivité par les suspensions marines et les mollusques filtreurs. *Rapport F. 41-75 nº 13. E.D.F. A.R.D.,* F 4, D 4. Direction des études et recherches E.D.F

KIMURA K. et ICHIKAWA R., 1970. — Uptake of ruthenium 106 by short necked clam. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.,* 36, 653-660.

KOSHY E. et GANGULY A.K., 1969. — Organic materials in the marine environments and their action with some metal ions. Bhabha Atomic center, *Rapport BARC-402,* 110 pp

KORRINGA P., 1952. — Recent advances in Oyster biology. *Quaterly Review of Biology,* 27, 266

Mac FARREN E.F., CAMPBELL J.E. et ENGLE J.B., 1961 — The occurence of copper and zinc in shellfish. *Proc. Shellfish Sanitation Workshop* (Nov 28-30 1961). 229-234.

MARCHAND M., 1972. — Contribution à l'étude de l'influence de la matière organique dissoute sur la physico-chimie d'éléments à l'état de traces dans l'eau de mer. *Thèse de doctorat. Université de Paris.* 132 p

MASSON M., 1975. — Etude expérimentale de la croissance et de la nutrition de la larve de *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) (Mollusques pélécypodes). *Thèse 3e cycle. Université de Caen.*

MIETTINEN T.K., HEYRAUD M. et KECKES S., 1972. — Mercury as a hydrosphere pollutant. II Biological half time om methyl mercury in four mediterranean species : a fish, a crab and two molluscs. In : F A O , *Marine Pollution and sea life, Rome, F.A.O.*, 295-298

MIX M C., 1972. — Chronic tissue degeneration in the pacific oyster, *Crassostrea gigas*, following acute gamma irradiation *Radiation Res* , 49, 176-189.

NAKAHARA H. et BEVELANDER C., 1967 — Ingestion of particulate matter in the cnta sutrae cel s of the mollusc mantle. *J Morph* 122, 134-146

NASSOGNE A., 1971. — Le rôle ces invertébrés marins dans le cumul et le transport des radionucléides. *Rev. int. Oceanogr. Med* , 20, 79-99

NELSON V.A., 1966. — Effects of strontium 90 + yrium 90, zinc 65 and chromium 51 on the larvae of the pacific oyster *Crassostrea gyjas M S. Thesis, Univ. Wash.*, 64 pp

NELSON V.A., 1972. — Effects of ionizing radiation and temperature on the larvae of the pacific oyster *Crassostrea gglas. Ph. D. Thesis., Univ. Wash* Experiens, 32, 324-325.

NELSON H. et GOYETTE O., 1976. — Heavy metal contamination in shellfish with emphasis on zinc contamination of the pacific oyster *Crassostrea gigas. Protection de l'environnement, région pacifique, Canada, Surveillance Report E.P.S. 5 - P.R.-76-2*

NIELSEN S.A. et NATHAN A., 1975. — Heavy metal levels in New Zealand molluscs *N.Z. J. mar. Freshwater Res.*, 9 (4), 457-481.

NOEL-LAMBOT M., 1976. — Distribution of cadmium, zinc and copper in mussel *Mytilus edulis*. Existence of cadmium binding similar to metallothionein. *Experientia*, 32, 324-325.

NOSHKINI V.E., 1972. — Ecological aspects of plutonium dissemination in aquatic environment. *Health phys.*, 22 (6) : 537-549.

OWEN G., 1956 — Observation on the stomach and digestive diverticula of the lamellibranchia. *Quart. J. micr. Sci.*, 98, 517-551.

PATEL B., 1976. — Field and laboratory comparability of radioecological studies In : *Technical report n° 167. Design of radiotracer experiments in marine biological systems. I.A.E.A., Vienne*, 211-239.

PATEL B., MULAY C.D. et GANGULY A.R., (sous presse). — Radioecology of Bombay Harbom, a tidal estuary. *Estuarine and coastal marine science* (cité par PATEL B., 1975).

PATEL S. et PATEL B., 1971. — Effect of ionizing radiation on haemoglobine of marine lamellibranche. *Mar. Biol.*, 10, 272-279.

PENTREATH R.J., 1973 — The accumulation from water of $^{65}$Zn, $^{54}$Mn, $^{58}$Co and $^{59}$Fe by the mussel *Mytilus edulis*. Proc. challenger Soc 4 (5) : 214.

PENTREATH R.J., 1975. — Subcellular techniques in radiologics studies. In : *Technical reports re 167 - Design of radiotracer exprriments in Marine biological systems I.A.E.A. Vienne*, 171-173

PEQUEGNAT J.E., FOWLER S.W. et SMALL L.F., 1969. — Estimates of the zinc requirements of marine organisms. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 26, 145-150.

PEQUIGNAT E., 1973. — A Kinetic and autoradiographic study of the direct assimilation of amino acids and glucose by organs of the mussel *Mytilus edulis. Mar. Biol.* 19, 227-244.

POLIKARPOV G.G., 1966. — The role of aquatic organisms in migration of radioactive substances. In : *"Radioecology of aquatic organisms". North Holland, Publishing company*, 176-179

PORTMANN J.E., 1971. — Monitoring metals in marine animals. *Mar. Poll. Bull.*, 2 (10), 157-158.

PRESTON A., 1966. — The concentration of $^{65}$Zn in the flesh of oyster related to the discharge of cooling pond effluent from the C.E.G.B. nuclear power station at Bradwell on Sea, Essex. *Radioecological concentration Processes (Aberg G. et Hungate F.P., Edit.), Pergamon Press, New York*, 955-1004.

PRESTON A., 1968. — The control of radioactive pollution in a North sea oyster fishery. *Helg. wiss. Meer.* 17, 269-279

PRESTON A., 1974 — Radioactivity in the marine environment In : *Sea fisheries : research, Harden Jones edit*, 329-395.

PRESTON A. et JEFFERIES D.F., 1969. — Aquatic aspects in chronic and acute contamination situations. In : *A.I.E.A. Environmental contamination by radioactive materials, A.I.E.A. Vienne*, 183-211.

PRESTON A., JEFFERIES D.F., DUTTON J.W.R., HARVEY B.R. et STEELE A.K., 1972. — British Isles coastal waters : the concentration of selected heavy metals in sea water, suspended matter and biological indicators, A pilot survey *Environ. Poll.*, 3 (1) 69-82

PRICE T.J., 1965. — Accumulation of radionuclides and the effects of radiation on molluscs In : *Biological Problems in water pollution, 3rd seminar, Tarzwell CE. edit*, U.S. Dept of Health Education and W Cincinnati, Ohio, 202-210

PRINGLE B.H., HISSONG D.E., KATZ E.L. et MULANKA S.T., 1968. — Trace metal accumulation by estuarine molluscs *J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engr.*, 94, 455-475

RANSON G., 1951. — Les huitres, culture, biologie. *Lechevalier P. edit. Paris*

RILEY J.P. et SEGAR D.A., 1970. — The distribution of the major and some micreelements in marine animals *J. mar. biol. Ass U.K* 50, 711-730.

ROBERTSON D.E., 1971. — Influence of the physico-chemical forms of radionuclides and stable trace elements in seawater in relation to uptake by the marine biosphere. In : *Marine radioecology. Proceedings of the second E.N.E.A. Seminar, Hamburg*, 21-62.

ROMERIL M.G., 1971. — The uptake and distribut on of $^{65}$Zn in oysters. *Mar. Biol.*, 9, 347-354.

ROMERIL M.G., 1974 — Trace metals in sediment and bivalve molluscs in Southampton water and the Solent. *Rev. Intern Oceanogr. Med.* 33, 31-47

RUDDEL C.L., 1971. — Regulation of the nature and function of the granular oyster amoebocytes through histochemical studies of normal and traumatized oyster tissues. *Histochimie*, 26, 98-112

RUDDEL C.L. et RAINS D.W., 1975 — The relationship between zinc, copper and the basophils of two Crassostreid oysters, *C. gigas and C. virginica*. Comp. Biochem. Physiol. 51, A (3). 595-591

SCHOFFENIELS E. et GILLES R., 1972. — Ionoregulation and osmoregulation in molluscs. In : *Chemical zoology, Florkin M. et Scheer B.T. Edit.*, Acad. press, N.Y., 8, 393-426

SCHUTZ-BALDES M., 1974. — Lead uptake from sea water and food and lead loss in the common mussel *Mytilus edulis. Mar. Biol.*, 25, 177-183

SEGAR D.A. et RILEY J.P., 1971. — The distribution of the major and minor elements in marine animals. Part 2 Molluscs. *J mar. biol. Ass. U.K*, 51, 131-136

THROWER S.J. et EUSTACE I.J., 1973 — Heavy metals in Tasmanian oysters In 1972. *Aust. Fish.*, 32, 7-10.

VAN DER BORGHT A. et VAN PUYMBROECK S., 1970. — Intrai uptake, distribut on and loss of soluble $^{106}$Ru in marine and freshwater organisms in laboratory conditions. *Health phys.*, 19 801-811

VAN WEERS A.W., 1973. — Uptake and loss of $^{65}$Zn and $^{60}$Co by the mussel *Mytilus edulis L., Radioactive contamination of the marine environment, Proc. Symp. Seattle, 1972, I.A.E.A. Vienne*, 385-401

VILQUIN A., 1969. — Contaminations expérimentales d'espèces marines par des formes du ruthénium 106 solubles et insolubles dans l'eau de mer. *Radioprotection*, 4 (3) : 185-192.

WALDICHUK M., 1974. — Some biological concerns in heavy metals pollution. In : *Pollution and physiology of marine organisms, I.S.B.N., 012718030, Acad. Press*, N.Y., 1-57

WILLIAMS R.B. et MURDOCH M.B., 1973. — The effects of continuous low level gamma radiation on estuarine microcosm. In : *Radionuclides in Ecosystems, Nelson D.J. edit.*, U.S.A.E.C., Oak Ridge, U.S.A.E.C. CONF. 710 501, 1213-1221

WOODHEAD D.S., 1971. — The biological effects of radioactive waste. *Proc. Roy. Soc., Lond.*, 177, 423-437

WOLFE D.A., 1970. — Zinc enzymes in *Crassostrea virginica. J. Fish. Res. Bd. Can.*, 27, 59-66

WOLFE D.A. et COBURN C.B., 1970 — Influence of salinity and temperature of the accumulation of caesium 137 by an estuarine clam under laboratory conditions. *Health phys.* 18 (5), 499-505

ZOBELL C.R. et FELTHMAN C.B., 1937. — Bacteria as food for certain marin invertebrates. *J. mar. Research.*, 8, 314-325.

# Etude expérimentale de l'influence de la température sur la survie de mollusques bivalves marins endogés

*par BODOY A. et MASSE H.*

Station marine d'Endoume — 13007 Marseille

Travail de recherche exécuté sous contrat n° 082 74 7 Env. F du Programme de Recherche sur l'Environnement des C.E.

## RÉSUMÉ

L'étude expérimentale de l'action de la température sur la survie de Mollusques Bivalves marins endogés peut être abordée par la double observation de l'effet létal extrême et des effets sublétaux affectant l'éthologie de l'espèce testée, en l'occurrence sa faculté d'enfouissement. Cette double observation permet de définir, en fonction de la température et du temps d'exposition, les limites biologiques et écologiques compatibles avec la survie de l'espèce.

## SUMMARY

Experimental studies of temperature effect on survival of marine bivalve molluscs living in soft bottom deposits were made in temperature controlled tanks. Observation of both lethal effect, fatal to the species, and sublethal effect on the burrowing response, allow to define critical temperature conditions for the species. Retention of the ability to burrow represents an important tolerance point ecologically, since if the bivalve is not buried, it is exposed to possible predation by any predators which can support exposure to these temperatures and is at the mercy of wave action to carry it ashore.

Les perspectives actuelles concernant la construction de centrales électriques sur le littoral et utilisant pour leur refroidissement l'eau de mer en circuit ouvert, nous amènent à examiner les conséquences de ces importants rejets d'eau chaude sur la faune marine. Sur le littoral méditerranéen, les constructions projetées entraîneront une pollution thermique qui affectera surtout les substrats meubles superficiels. C'est pourquoi il nous a paru intéressant d'entreprendre une étude expérimentale de l'influence de la température sur la survie de quelques Bivalves vivant dans les sables fins superficiels Ces animaux endogés n'ont pas la possibilité, comme c'est le cas pour la faune vagile, de se soustraire à l'action de l'effluent chaud en se déplaçant sur de grandes distances.

Le but de cette note est de proposer un processus expérimental permettant de définir les limites thermiques supérieures compatibles avec la survie d'une espèce.

## METHODES

Les bacs d'expérimentation ont une capacité de 10 litres. Ils sont pourvus d'un double fond ajouré qui supporte un filtre à sable constitué d'une couche de fibres synthétiques (perlon), d'une couche de graviers coquilliers, d'une couche de sable fin où les Bivalves testés peuvent s'enfouir. Pour faciliter la récupération des animaux en fin d'expérience, une gaze sépare le gravier du sable fin, permettant ainsi de siphonner ce dernier sans perturber les autres constituants du filtre. Grâce à un exhausteur à air comprimé, ce filtre est percolé en permanence, tandis que l'eau est maintenue à un taux de saturation en oxygène satisfaisant (85 %). Ces bacs sont remplis d'eau de mer filtrée et sont placés dans un bain-marie dont la température est maintenue constante à 0,5° C près, au moyen d'un thermostat. L'évaporation est compensée par un apport d'eau distillée, afin de maintenir la salinité à un taux constant. Il est préférable de couvrir chaque bac, afin que l'eau d'évaporation puisse retomber dans celui-ci.

Les animaux récoltés avec précautions, pour éviter tout traumatisme, sont maintenus en aquarium pendant 3 ou 4 jours à une température voisine de celle relevée dans leur milieu naturel, le jour de la recolte. Ces animaux sont ensuite transférés, par lot de 20 individus, dans des bacs préalablement mis en température et offrant une gamme de 26 à 36° C, avec un écart de 2° entre chaque bac. Un lot témoin est maintenu à la température du milieu naturel pour déceler toute mortalité indépendante de l'effet thermique.

Cette méthode, inspirée de celles employées par Fry (1957), Kennedy et Mihursky (1971), nous a semblé préférable à celle qui consiste à élever progressivement la température du bac où sont immergés les individus à tester, car elle simule mieux le choc thermique auquel est soumis la faune sous l'action d'une nappe d'eau chaude fluctuante, en forme et en direction, sous l'effet des courants et des vents.

## RESULTATS

Un contrôle des bacs après 3, 6, 12, 24, 48, 72 et 96 heures, permet de comptabiliser les individus morts, les individus enfouis, les individus non enfouis en état de stress. La détermination de la mort nécessite une observation minutieuse des animaux testés, au cours d'expériences préliminaires, car les comportements varient d'une espèce à l'autre. D'une manière générale, elle repose sur l'absence de réaction des siphons, s'ils sont en extension, du bord du manteau, si les valves sont baillantes, ou des muscles adducteurs si les valves sont jointives. Dans ce dernier cas, il suffit d'introduire doucement la lame d'un microscalpel entre les valves. Chaque animal douteux est immergé dans le bac du lot témoin. En cas de récupération rapide, il est remis dans le bac d'expérience ; si la récupération est lente, il est considéré comme mort au contrôle suivant.

Ces observations portées sur les graphiques de la figure 1 permettent de définir deux données, d'une part, la température létale pour 50 % des individus (T.L. 50)

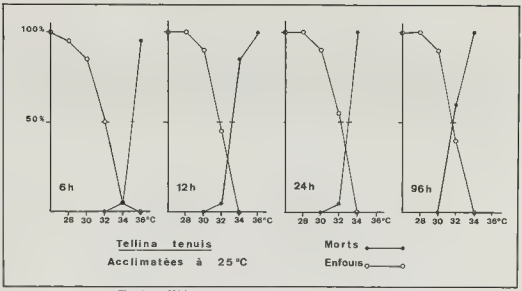



**Fig. 1. — Méthode de détermination des T.L. 50 et T.E. 50**

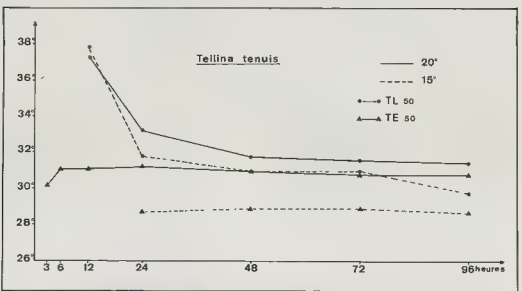



**Fig. 2. — Evolution des T.L. 50 et T.E. 50 en fonction du temps, pour des animaux acclimatés, dans leur milieu, respectivement à 15 et 20°.**

d'autre part, la température d'enfouissement pour 50 % des individus (T.E. 50).

La T.L. 50 est obtenue en cumulant, pour chaque température, les pourcentages d'individus morts par rapport au nombre total d'individus présents dans chaque bac en début d'expérience (20). Cette opération est effectuée pour chaque contrôle. Les T.E. 50 sont déterminées de la même manière, le pourcentage du nombre d'individus enfouis est obtenu par la soustraction du nombre des individus morts et non enfouis au nombre total des individus présents au départ, ceci pour chaque température et pour chaque intervalle de temps.

Ces deux données, T.L. 50 et T.E. 50, évoluent dans le temps selon le graphique de la figure 2 qui représente la synthèse des observations. Ces courbes ont une allure générale identique pour l'ensemble des espèces de Bivalves que nous avons testé jusqu'à ce jour. Les différences portent sur les valeurs des T.L. 50 et T.E. 50 qui peuvent varier en fonction des saisons, en fonction de la latitude à laquelle sont récoltés les individus de l'espèce étudiée, en fonction de leur distribution bathymétrique et de leur métabolisme (Bodoy, 1976).

## DISCUSSION

L'intérêt de cette méthode est de permettre la définition des limites thermiques supérieures dangereuses pour la survie de l'espèce considérée. La juxtaposition, sur un même graphique, des courbes montrant l'évolution des T.L. 50 et T.E. 50, en fonction du temps, permet de définir une zone dangereuse, au point de vue thermique, correspondant à un état de stress pour la population.

Cette zone est représentée par l'aire comprise entre les deux courbes. La première, celle des T.L. 50, est une limite biologique extrême, la seconde, celle des T.E. 50, est une limite écologique tout aussi importante, car une espèce qui perd sa faculté d'enfouissement devient très vulnérable, en particulier dans les fonds superficiels, les plus susceptibles d'être atteints par la pollution thermique en milieu marin. En effet, un animal non enfoui, ou incapable de se maintenir enfoui risque, soit d'être rejeté sur la grève, soit d'être la proie des prédateurs non affectés par la pollution thermique.

## BIBLIOGRAPHIE

BODOY A., 1976. — Etude de l'influence de la température, liée à la pollution thermique, sur la survie et la biologie de quelques Mollusques des substrats meubles. *Thèse de spécialité. Université Aix-Marseille II, Centre universitaire de Luminy, 1-95 pp. multigr.*

FRY F.E.J., 1957. — The lethal temperature as a tool in taxonomy *Ann. biol.*, 33 (5-6) : 205-219.

KENNEDY V.S., MIHURSKY J.A., 1971. — Upper temperature tolerance of some estuarine bivalves. *Chesapeake Sci.*, 12 (4) : 193-204

# Influence de la chloration et du choc thermique sur les larves de moules dans les circuits d'eau

*par Didier BUCAILLE et Ny KIM*

Laboratoire maritime de Luc-sur-Mer. Contrat E.D.F. Commande A. 0114 (1975-1976). U.E.R. des Sciences de la Vie et du Comportement. Université - 14032 Caen Cedex.

## RÉSUMÉ

L'université de Caen est chargée d'évaluer l'influence de la chloration en continu et en statique sur les larves pédivéligères de moules. L'action du choc thermique seul, puis combiné avec la chloration en statique, a été testée.

Pour les concentrations étudiées, 0,5 et 1 ppm, les résultats montrent que :

● la chloration en continu permet d'empêcher la fixation des larves pédivéligères. Le temps de récupération des larves soumises à ce choc est proportionnel à la durée d'exposition et à la concentration en chlore dans le milieu ;

● la chloration dite en statique n'empêche pas les larves de se fixer même lorsque la concentration en chlore dans le milieu est supérieure à 0,5 ppm. Ce résultat est en contradiction avec le résultat obtenu avec 0,5 ppm lors de la manipulation précédente ;

● avec un $\Delta$ t de 12 ou 15° C, une injection de chlore de 0,5 ppm empêche la fixation des larves pendant environ 4 heures

Ces différentes actions devraient être favorisées par un courant d'eau supérieur à 1,5 m/s que nous n'avons pas réalisé en laboratoire mais qui existe dans les centrales.

## SUMMARY

Caen University has undertaken to evaluate the influence of dynamic and static chlorination on mussel pediveliger larvae. The action of thermic shock taken singly, and combined with static chlorination was also tested.

For the studied concentrations 0,5 and 1 ppm the results show that :

● dynamic chlorination allows the settlement of pediveliger larvae. The recovery time of these stressed larvae is proportionnal to the duration of exposure and to the chlorine concentration in the water.

● the static chlorination does not prevent settlement of larvae even when the chlorine concentration in the water is greater than 0,5 ppm. This result conflicts with the result obtained rising 0,5 ppm in the first experiment.

● with a $\Delta$ t corresponding to 12 or 15° C, a 0,5 ppm chlorine injection prevents the fixation of larvae for about four hours. We cannot carry out this experiment in the laboratory but the different conditions migth be favoured by a running water system faster than the 1,5 m/s of the power plat

Les moules *(Mytilus edulis, Mytilus galloprovincialis)* se fixent en grand nombre sur les parois des canalisations centrales thermiques. Aussi l'E.D.F. a chargé l'Université de Caen d'étudier l'influence du chlore sur la fixation des larves pédivéligères de moules, soit par chloration "statique", soit par chloration en continu.

L'effet du choc thermique subi par les larves au niveau des condenseurs a été également étudié.

Enfin, l'effet combiné d'une chloration et du choc thermique a donné lieu à une série de recherches expérimentales, ces dernières manipulations ayant pour objet de se rapprocher le plus possible des conditions d'exploitation de l'usine.

Les larves utilisées lors des différentes manipulations appartiennent à l'espèce *Mytilus galloprovincialis*. Ces larves, obtenues à partir de pontes émises par chocs thermiques, ont été élevées en laboratoire dans des conditions stériles jusqu'au stade pédivéligère

## I. MATERIEL ET METHODE

Quatre types de manipulations ont été réalisées.

1. **La chloration statique** où l'on injecte dans la cuve à expérimentation une quantité de chlore déterminée en même temps que l'on introduit des larves. Des dosages, à intervalles de temps réguliers, montrent que le chlore disparaît rapidement dans l'eau de mer. Ainsi, cette manipulation permet d'étudier le taux de fixation en fonction de la décroissance du chlore dans l'eau de mer.

2. **La chloration en continu** où l'on maintient constant le taux de chlore dans l'eau de mer. Ainsi, nous pouvons voir si les larves se fixent dans un milieu contenant une concentration déterminée de chlore ainsi que le temps de récupération.

Lors de ces deux manipulations, deux taux de chlore, 0,5 et 1 ppm, ont été étudiés. La durée d'exposition à chaque concentration de chlore a été de 5, 10, 20 et 30 mn.

3. **Le choc thermique** seul consiste à faire passer les larves de 18° C, température du laboratoire, à une température plus élevée et déterminée. On laisse ensuite cette température décroître régulièrement pendant 20 heures, de façon qu'au bout de ce temps elle atteigne 18° C + 20 % du $\Delta$ t. Deux chocs thermiques ont été étudiés et ont pour amplitude 12° C et 15° C et pour durée : 5, 10, 20 et 30 mn.

4. **L'action simultanée** du choc thermique et de la chloration statique est la combinaison, au point de vue des paramètres, du choc thermique seul et de la chloration statique.

Chacune des différentes manipulations a été exécutée trois fois. A la fin de chaque expérience, les lots de larves ont été remis en élevage.

## II. RESULTATS

1. **Chloration statique** (fig. 1)

La chloration dite en statique représente en fait ce qui se passe dans les centrales ; les larves de moules

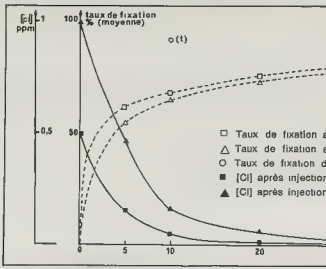



**Fig. 1. — Variation des taux de fixation des larves pédivéligères de moules au cours du temps, après injection de deux doses de chlore.**

sont soumises à une dose de chlore qui décroit rapidement après injection.

Dans les conditions expérimentales réalisées en laboratoire, les larves pédivéligères se fixent rapidement bien que l'eau contienne un résidu de chlore

2. **Chloration en continu**

Les larves pédivéligères ne se fixent pas pendant toute la durée du choc imposé par la chloration en continu, que celle-ci soit faite avec une concentration en chlore de 1 ppm ou de 0,5 ppm.

Cependant, le temps de récupération est plus long lorsque les larves sont exposées plus longtemps au chlore. On remarque que, lorsque la chloration ne dépasse pas 10 minutes, le temps de récupération est indépendant des concentrations utilisées. Au-delà de ce temps d'exposition au choc considéré, le taux de larves fixées en fonction du temps est inversement proportionnel à la concentration en chlore injectée dans le milieu.

Quelles que soient la durée du choc et la concentration en chlore utilisée, nous n'avons pas une mortalité assez significative qui nous permette de conclure de façon précise au sujet de l'action létale du chlore sur les larves pédivéligères de moules.

3. **Choc thermique**

Le choc thermique semble être beaucoup plus létal pour les larves de moules que la chloration, qu'elle soit statique ou continue. Dans nos expériences, 20 heures après le choc thermique, la mortalité est en moyenne de 15 %, alors que la chloration ne provoque pas une mortalité qui dépasse de façon significative celle des témoins.

Quelle que soit la durée du choc thermique (5, 10, 20 ou 30 mn), son amplitude ($\triangle$ t = 12, $\triangle$ t = 15), la mortalité n'est pas proportionnelle à l'intensité du stress. Ce qui compte peut-être avant tout, c'est la durée d'exposition des animaux à une température donnée. Ainsi, dans les manipulations que nous avons réalisées, les animaux ont été exposés à une température supérieure ou égale à 25° C pendant 10 à 12 heures.

Les premières larves fixées sont apparues 5 heures après la fin du choc thermique indépendamment de sa durée et de son amplitude.

4. **Action simultanée du choc thermique et de la chloration statique**

Le chlore disparaissait rapidement puisque, 30 mn après son injection, il n'existe pratiquement plus à l'état libre. Il semble ainsi qu'il n'ait aucune efficacité sur la fixation des larves lors de l'action simultanée de la chloration statique et du choc thermique puisqu'on n'observe pas de larves fixées avant 5 heures après la fin de ce choc.

Cette manipulation provoque une mortalité identique à celle obtenue lors du choc thermique

## CONCLUSION

Les résultats donnés par les différentes manipulations montrent que :

- la chloration en continue permet d'empêcher la fixation des larves pédivéligères. Le temps de récupération des larves soumises à ce choc est proportionnel à la durée d'exposition et à la concentration en chlore dans le milieu.
- la chloration dite "en statique" n'empêche pas les larves de se fixer même lorsque la concentration en chlore dans le milieu est supérieure à 0,5 ppm. Ce résultat est en contradiction avec le résultat obtenu avec 0,5 ppm lors de la manipulation précédente.
- avec un $\triangle$ t de 12 ou 15° C, une injection de chlore de 0,5 ppm empêche la fixation des larves pendant environ 4 heures.

Ces différentes actions devraient être favorisées par un courant d'eau supérieur à 1,5 m/s que nous n'avons pas réalisé en laboratoire mais qui existe dans les centrales.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BOHLE B. — Settlements of Mussels larvae *Mytilus edulis* on suspended collectors in norvegian waters. *Institute of Reserch, Directorate of Fisheries, Bergen, Norway, 53-69*

DIAZ R.J., 1973. — Effects of brief temperature increases on larvae of the American Oyster *(Crassostrea virginica)* J. *Fish, Res Board Canada, Canada, 30 (7) : 991-993, res. fr., Bibl. (3 ref.)*

DUNCAN WAUGH G., 1964. — Observations on the effects of chlorine on the larvae of oyster *(Ostrea edulis)* and barnacles *(Elminius modestus* Darwin*) Ann. appli. Biol., 54 : 423-440.*

HIRAYAMA K. and HIRANO, 1970. — Influences of high temperatures and residual chlorine on the marine planktonic larvae. (Jap., Eng abstr.) *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., 29 (in press).*

HOLMES N., 1970. — The effects of chlorination on mussels C E R L *Note RDL/N/79/72 : 1-31*

HOLMES N.J., 1970 c. — Mussel fouling in power stations. Theattachement system of Mussels C E R L. *Note RDL/N/ 79/70 : 1-12*

KENNETH R.H. and KENNETH B.B., 1967. — Thermal tolerance of the bivalve molluscs *Modiolus modiolus, Mytilus edulis L.* and Branchiontes demissus. *Diliwyn Comp. Biochm. Physiol., 22 (1) : 149-155.*

KENNEDY U.S., ROOSENBURG W.H., ZION H.H., CASTAGNA M., 1974. — Temperature tims relationship for survival of embryons and larvae of *Mulinva lateralis* (Mollusca : Bivalva). *Mar. Biol. Germ. 24 (2) : 137-148, bibl. (28 ref.)*

LOUCH R.G., CONOR J.J., 1973. — A reponse surface approach to the combined effects of temperature and salinity on the larval development of *Adula californensis (Pelecypoda : Mytilidae).* I. Survival and growth of three and fifteen day old larvae. *Mar. Biol. Germ., 22 (3) : 241-250, bibl. (26 ref.).*

LUBET P., 1959. — Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les Mytilidés et Pectinidés (Moll. Lamellibranches). *Revue Trav. Inst. Scient. Tech., Pêch. marit., 23.*

LUBET P. et P. LE GALL, 1967. — Observations sur le cycle sexuel de *Mytilus edulis L.* à Luc-sur-Mer. *Bull. Soc. Linn. Normandie, 10 (6).*

VAN WINKLE W, Jr, 1970. — *Effects of environmental factors on* byssal threads formation. *Mar. Biol., 7 : 143-148.*

WAUGH D.L., 1972. — Upper lethal temperatures of the pelecypod *Modiolus demissus* in relation to declining environmental temperatures. *Canada. J. Zool., Canada, 50 (5) : 623-627, bibl (6 ref.) res. fr.*

WAUGH D.L., 1975. — Delayed mortality following thermal stress in three species of interdidal pelecypod molluscs *(Modiolus demissus, Myrarenaria, and Mytilus edulis). Can. Jour. of Zool., 53 (11) : 1658-1662.*

# La pollution des mers et le devenir de l'industrie coquillière

*par le Professeur Dr P. KORRINGA*

Directeur de l'Institut néerlandais pour les recherches concernant la pêche, Ijmuiden, Pays-Bas

## RÉSUMÉ

Maints gisements naturels d'huîtres et de moules, jadis si riches, ont été détruits par surexploitation dans toutes les parties du monde. C'est seulement là où l'on a converti, en temps utile, la pêche libre dans une culture marine, qu'on a pu continuer à profiter de ces ressources naturelles. En Europe c'est la France qui a pris la tête en développant des systèmes de culture pour les moules et pour les huîtres. La conchyliculture, basée sur la richesse naturelle du phytoplancton, rend souvent possible la production d'un multiple du tonnage récolté jadis sur les gisements naturels.

La conchyliculture demande une main-d'œuvre assez importante et en outre les mollusques doivent arriver vivants, dans leurs coquilles, sur le marché C'est pourquoi il est impossible de commencer de telles cultures où la pollution humaine est trop clairsemee et où un transport rapide et fréquent vers les agglomérations n'est pas possible Les agglomérations, à leur tour provoquent la pollution des rivières et des estuaires, par des déchets ménagers et industriels. Les déchets ménagers, y compris la matière fécale, peuvent rendre les mollusques à déguster à l'état cru dangereux pour le consommateur. Des bactéries et des virus peuvent être accumulés par les mollusques filtrant l'eau, et l'expérience a démontré maintes fois que le choléra, la typhoïde, l'hépathie et quelques autres maladies contagieuses peuvent être transférées par les mollusques mangés crus.

C'est pourquoi les autorités de la Santé Publique exigent un contrôle bactériologique strict du produit mis sur le marché et une surveillance bien organisée sur les parcs où on cultive le produit de consommation et des bassins où on les entrepose. L'hépatite de nos jours, plus répandue que jadis ; peut mener à des exigences encore plus strictes de la part de la Santé publique et par cela à une perte des parcs et des bassins utilisés encore maintenant et à des mesures plus strictes pour les bassins de purification en usage chez de nombreux pays pour les mollusques originaires d'eaux légèrement polluées. Partout dans le monde, il devient de plus en plus difficile de produire des mollusques d'une grande pureté bactériologique, parce que la pollution des rivières et des estuaires augmente toujours. Malheureusement on ne peut pas exécuter la conchyliculture au large, loin des sources de pollution.

A part la pollution avec des déchets ménagers, il existe ici et là une pollution par des produits industriels Cela peut rendre les coquillages inacceptables lorsqu'ils acquièrent un goût désagréable ou quand ils accumulent quelques produits toxiques.

En principe, la conchyliculture peut multiplier le tonnage d'huîtres, de moules et de clams mis sur le marché, mais parce que les cultures doivent être exécutées dans des endroits très abrités, où la pollution menace, les ostréiculteurs et les myticulteurs perdent toujours plus des parcs jadis si productifs ou doivent accepter des risques plus grands sur des parcs moins abrités. En outre, les conchyliculteurs rencontrent souvent une opposition croissante de la part des loisirs et du tourisme qui n'acceptent pas que des terrains soient réservés exclusivement pour la conchyliculture.

Si on réalise au surplus que des habitudes d'alimentation conservatrices et des prescriptions religieuses rendent impossible la vente des coquillages comestibles en maints pays du monde, il est clair qu'un accroissement rapide de la conchyliculture mondiale quoique biologiquement et techniquement possible, est peu probable.

## SUMMARY

Productive natural beds of oysters and mussels have been destroyed by indiscriminate overexploration in many parts of the world. Only where one switched over from a free fishery to real farming timely enough has it been possible to continue reaping the harvest of these natural ressources. In Europe it was France which took the lead by establishing systems for farming both mussels and oysters. By shellfish farming the sustainable yield, based on the natural production of phytoplankton is often a multiple of the tonnage one harvested before from the natural beds.

Since the shellfish industries are labour-intensive and since one has to bring mussels and oysters alive, in the shell, on the market, one cannot establish such industries in sites with a too scanty human population and deprived of rapid and frequent transportation to the agglomerations. Agglomerations entail, however, pollution of rivers and estuaries, by both domestic and industrial waste. Domestic pollution, including faecal material, may render shellfish to be consumed in the raw state dangerous for the consumer. Both bacteria and virusses can be accumulated by the filter feeding molluscs, and it has been experienced repeatedly that such may lead to outbreaks of cholera, typhoid, hepatitis and some other contagious diseases.

Public Health Authorities insist therefore rightly on a strict bacteriological control of the marketable product and on a well organized supervision of the grounds where the full-grown shellfish is farmed and of the storage basins. The increasing incidence of hepatitis may very well lead to still higher demands on the purity of the water for shellfish farming and storage, and hence to further loss of farming and storage acreage and to still stricter measures for purification plants in which one keeps in some countries shellfish grown in suspected water some time prior to marketing

Everywhere in the world one is faced with increasing difficulties in producing shellfish which can meet high

standards of bacteriological purity since little is done to control pollution of rivers, estuaries and other sheltered inshore waters. Shellfish farming cannot be carried out in the open sea far from all sources of pollution. Apart from pollution by domestic sewage on can be faced with industrial pollution, leading to tainting of the shellfish wich makes it unacceptable for the consumer or to accumulation of toxic compounds of some description which force the Public Health Autorities to declare the shellfish unfit for human consumption

In principal shellfish farming can lead to multiplying the tonnage of oysters, mussels and clams brought to the market, but since farming has to be carried out only in sheltered sites where pollution may strike, the farmers, poorly protected by law against pollution, are faced with loss of once productive grounds and have to accept great risks when working in deeper water In additon the farmers are often faced with increasing disapproval from the side of recreationists from the nearby agglomerations if they wish to reserve certain areas for shellfish farming. In one realizes moreover that conservative feeding habits and rather vague religious precepts render it economically difficultif not impossible to market molluscan shellfish in many a country of this world, it will be clear that a sharp increase in the production of farmed shellfish, though biologically and technically possible, will be out of the question.

---

L'homme a exploité les gisements naturels des coquillages divers depuis l'époque préhistorique. Les coquilles trouvées en quantités appréciables dans ces déchets domestiques en sont les témoins. D'abord on récoltait les coquillages à pied, à basse mer, ensuite à l'aide des bateaux et des dragues. On trouvait de nombreux bancs d'huîtres plates le long de la côte Atlantique de France, mais les bancs les plus riches se trouvaient plus au nord, dans le Firth of Forth en Ecosse. De là on a expédié des dizaines de millions d'huîtres, vers l'intérieur — Dickens nous raconte qu'on les vendait très bon marché dans les rues de Londres —, mais on les exportait aussi vers d'autres pays. Les marchands d'huîtres en Zélande en importaient des quantités importantes pour les entreposer dans leurs bassins pour la vente en Belgique, en Allemagne et aux Pays-Bas même En Schleswig-Holstein on trouvait à cette époque des bancs d'huîtres assez riches appelées "Fiskalische Austernbänke" et en Pays-Bas on pêchait tant d'huîtres sur les gisements du Waddenzee, situés derrière les îles frises, que la ville d'Amsterdam prélevait une taxe spéciale pour la dégustation d'huîtres dans les nombreux restaurants locaux, qui se trouvaient surtout près du port, où on voit maintenant la Gare centrale. Recemment on y trouvait les témoins de la dégustation : des masses de coquilles montrant toutes les caractéristiques du stock d'huîtres du Waddenzee, maintenant éteint.

L'augmentation de la population humaine et de sa prospérité, mais surtout le développement d'un réseau de chemins de fer qui rendait possible le transporter des huîtres vivantes vers des agglomérations loin de la côte, menaient à une vraie surexploitation des bancs naturels d'huîtres. Quand la demande augmentait les pêcheurs prélevaient d'une façon plus intensive pour satisfaire la demande du marché, même quand la récolte par heure de pêche diminuait visiblement.

Vers le milieu du dix-neuvième siècle la situation devenait alarmante : des bancs jadis si riches perdaient leur productivité

Pour remédier à cette situation on introduisait des tailles minimum pour les huîtres de consommation et limitait les saisons de pêche. On a même fermé les bancs de Schleswig-Holstein onze ans en succession dans un effort de permettre aux bancs naturels la possibilité de se reconstituer. Mais tous ces efforts étaient vains, la reconstitution ne se manifestait pas. Pourquoi donc ? Parce qu'il était trop tard, la population était déjà trop clairsemée.

Chaque huître produit un nombre très grand de larves, mais la vie larvaire est très périlleuse : des prédateurs nombreux, aussi bien des invertebrés filtrant l'eau, que des chasseurs de toute sorte, y compris certains poissons, se nourrissent du plancton, de larves d'huîtres qui ne peuvent s'enfuir pour échapper à leurs bouches voraces. Mais les larves qui échappent à ce danger et trouvent, en outre, assez de nourriture propice pour leur permettre d'atteindre au bout de quelques semaines — ou d'une dinzaine de jours où l'eau est assez chaude — une taille leur permettant de se fixer sur quelque objet solide, sont souvent transportées par les courants vers des endroits ou de tels objets sont introuvables. Celles-ci perissent par manque de collecteurs. C'est exactement pourquoi les huîtres-mères doivent produire un si grand nombre de larves

Quand on pêche sur un banc naturel on diminue le nombre d'huîtres adultes, prêtes à se reproduire en été. Le pourcentage des larves produites par la population locale, capable de survivre jusqu'à ce qu'elles soient prêtes à se fixer, est réduit. Ce pourcentage n'est pas exactement le même chaque année, mais montre une certaine moyenne quand tous les facteurs écologiques en jeu montrent à leur tour des valeurs moyennes. Quand on réduit le nombre d'huîtres-mères par la pêche, on réduit automatiquement le nombre de larves produites en été. Dans une année moyenne cela veut dire sans aucun doute un nombre réduit de larves prêtes a se fixer

Mais ce n'est pas le seul facteur défavorable causé par la pêche : dans la nature des objets durs et propres, facilitant la fixation des larves d'huîtres à l'aide d'une colle, sont très rares. C'est pourquoi seulement un pourcentage très réduit des larves prêtes à se fixer peuvent trouver un collecteur ; les autres périssent. Dans la nature ce sont surtout les « dentelles » des huîtres adultes, dures et encore tres propres, qui peuvent servir de collecteur. Quand on élimine un pourcentage important d'huîtres aduites par la pêche sur le banc naturel, cela veut inévitablement dire qu'on réduit la chance pour chaque larve mûre de trouver un collecteur propice Ainsi du nombre de larves déjà réduit par la pêche d'huîtres de consommation, le pourcentage qui peut se fixer après avoir survécu à tous les périls de la vie larvaire est sensiblement plus bas que jadis. Ainsi la pêche même inévitablement à une reproduction insuffisante et défectueuse

Quand on réalise, en outre, que les pêcheurs se donnent rarement la peine de détacher soigneusement les petites huîtres des coquilles d'huîtres adultes pour les ensemencer sur le gisement, on peut comprendre pourquoi les bancs gravement surexploités ne se reconstituaient que difficilement, même quand on interdisait la pêche complètement pour une série d'années. Quand la population devient tellement clairsemée que la fécondation des œufs est incomplète, la fin de l'existence du banc est proche Un hiver sévère peut donner le coup de grâce. Ainsi les bancs du Firth of Forth, de Schleswig-Holstein, du Waddenzee aux Pays-Bas n'existent plus de nos jours. On n'y trouve plus une seule huître vivante.

Le fait qu'il soit encore possible de déguster des huîtres de nos jours est dû au développement de l'ostréi-

**En hiver, on entrepose des millions d'huîtres de consommation dans les bassins à Yerseke. Ici, un bassin à l'extérieur de la digue submergée par haute mer. On met les huîtres dans des paniers pour les transporter vers un bassin à l'intérieur de la digue où on peut les prendre chaque heure, pour les expédier.** (Photo G. C. Drinkwaard)

culture, qui a pris naissance en France, après les études du professeur Coste qui découvrait les témoins de l'ostréiculture des Romains dans le Lago Fusaro, près de Naples. Le principe : offrir aux larves d'huîtres à temps une multitude de collecteurs, des objets propices pour leur fixation, était excellent, mais il fallait développer un système adapté à la situation hydrographique, sociale et économique locales. Après avoir surmonté maintes difficultés l'ostréiculture se développait, d'abord dans le Bassin d'Arcachon et peu après en Bretagne et dans l'Escaut oriental aux Pays-Bas. Les débuts étaient difficiles aussi du point de vue légal. On a besoin d'une population d'huîtres-mères d'une certaine importance, et vraiment les meilleurs endroits pour la fixation du naissain et pour la pousse et l'engraissement d'huîtres devraient être mis entre les mains des ostréiculteurs. Ces terrains devraient être bien protégés par la loi et par la police contre les maraudeurs, tout comme l'éleveur de bétail doit être assuré que ses vaches sont à l'abri dans son pâturage bien délimité.

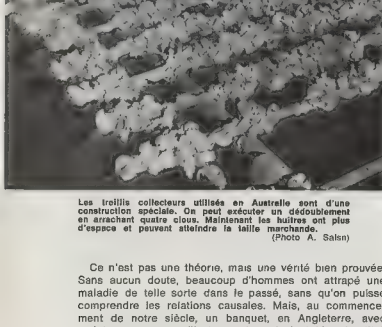
C'est seulement quand le Gouvernement a décidé de prendre à temps des mesures énergiques, des mesures rigoureuses comme une interdiction totale de la pêche libre sur les gisements naturels pour pouvoir mettre ces terrains entre les mains des ostréiculteurs pour leur offrir la possibilité de captage, d'élevage et d'affinage d'huîtres, que l'ostréiculture a pu se développer. Pour bien peupler les parcs dans le bassin d'Arcachon on s'approvisionnait au début d'huîtres plates originaires des bancs naturels du Nord de l'Espagne, maintenant épuisés. Là où les débuts furent tardifs comme dans le Waddenzee aux Pays-Bas, on pouvait s'attendre à un échec. C'est pourquoi une vraie ostréiculture sur des terrains vraiment propices ne pouvait se développer dans tous les pays où on trouvait jadis des gisements d'huîtres d'une certaine importance. Mais où l'industrie nouvelle se développait on observait bientôt qu'on pouvait produire des quantités d'huîtres qui surpassaient maintes fois l'ancienne production des gisements naturels, pouvant ainsi alimenter le marché avec un produit de haute qualité et apportant à des milliers d'hommes un gagne-pain.

Pour l'ostréiculture on a besoin de terrains bien abrités avec un fond assez dur, baignés par des eaux d'une salinité propice, renfermant un plancton végétal assez riche. En outre, on doit trouver dans les environs une population humaine pas trop clairsemée parce que l'ostréiculture demande une main-d'œuvre assez importante. Le marché pour les huîtres se trouve dans des agglomérations et pour servir ces marchés avec un produit encore vivant, on a besoin de bons moyens de transport. Tout cela limite les possibilités de la conchyliculture le long des côtes des continents du monde d'une façon assez sensible.

Mais la proximité d'une agglomération n'est pas toujours un avantage pour l'ostréiculture et la mytiliculture. Les villes près de la côte et plus en amont dans les estuaires déchargent le contenu des égouts normalement dans l'eau, pour s'en débarrasser d'une façon peu coûteuse. Cela signifie une pollution des eaux côtières et des estuaires avec des déchets contenant de la matière fécale. Les marées diluent l'effluent et seulement tout près du point de décharge on peut observer des taux d'oxygène assez bas et une eau noirâtre avec une odeur de soufre.

Mais les marées transportent l'effluent dilué sur des distances appréciables ; ainsi il peut atteindre les parcs à huîtres situés à des distances assez importantes de la ville. Quand tout le monde est en bonne santé une matière fécale bien diluée ne peut pas nuire à l'ostréiculture, mais cela n'est malheureusement pas le cas

De temps en temps la matière fécale contient des choses dangereuses : des micro-organismes et virus encore vivants qui peuvent causer le choléra, la typhoïde, l'hépatite, la polio et quelques autres maladies contagieuses. Ces micro-organismes ne survivent pas longtemps dans l'eau de mer, mais plusieurs jours en tout cas. Quand l'huître filtre l'eau pour récolter sa nourriture, elle concentre dans son estomac et ses intestins des très petites particules de toute sorte, y compris les micro-organismes originaires de la matière fécale déjà diluée. L'huître les accumule et les concentre ainsi de nouveau, et quand on mange de telles huîtres crues, on court le risque d'attraper une maladie contagieuse assez dangereuse.



**Les treillis collecteurs utilisés en Australie sont d'une construction spéciale. On peut exécuter un dédoublement en arrachant quatre clous. Maintenant les huîtres ont plus d'espace et peuvent atteindre la taille marchande.**
(Photo A. Salsn)

Ce n'est pas une théorie, mais une vérité bien prouvée. Sans aucun doute, beaucoup d'hommes ont attrapé une maladie de telle sorte dans le passé, sans qu'on puisse comprendre les relations causales. Mais, au commencement de notre siècle, un banquet, en Angleterre, avec maints personnages illustres autour de la table, aboutit à un nombre appréciable de malades avec tous les symptômes de la typhoïde. Des recherches exécutées par la Santé publique révélait que les huîtres servies au banquet étaient les coupables, des huîtres entreposées dans un estuaire dans un site proche d'un petit égout. On pouvait même trouver le porteur des germes de l'autre côté de l'égout.

Ces événements, bien publiés dans la presse, se montraient vraiment catastrophiques pour le commerce d'huîtres en Europe. Que le public ait eu peur est bien compréhensible, comme le public italien craint les moules crues de nos jours après les cas de choléra causés par des moules cultivées dans une eau polluée de la baie de Naples. Heureusement les autorités de la Santé publique dans les plus importants pays ostréicoles en Europe : la France et les Pays-Bas, ont pris des mesures radicales : on a fermé tous les parcs et bassins servant d'entrepôt où l'eau contenait de la matière fécale en quantités appréciables et organisait un contrôle bactériologique pour tous les coquillages destinés à la consommation crue. Lorsque l'analyse montrait que les coquillages étaient vraiment purs du point de vue bactériologique, on pouvait alors les expédier, accompagnés d'une "étiquette sanitaire". D'autres pays possédant une industrie conchylicole de quelque importance, y compris l'Angleterre, ont suivi cet exemple, et bientôt on acceptait les certificats mutuels. Ainsi on restaurait la confiance du public européen, et bientôt on acceptait les huîtres et les autres coquillages destinés à la consommation crue sans hésitation. Une crise grave dans la conchyliculture était maîtrisée.

Il ne faut pas oublier que les mesures prises par la Santé publique pour sauver l'avenir de la conchyliculture ne manquaient pas d'affecter beaucoup d'ostréiculteurs. Aux Pays-Bas, tous les bassins d'huîtres de la ville de Bergen-op-Zoom étaient supprimés, et pour les bassins à Tholen on était obligé de faire écouler l'eau par un système de grands bassins avant de la faire entrer dans les bassins où se trouvaient les huîtres de consommation. Plusieurs parcs à proximité de la ville de Bergen-op-Zoom étaient mis hors d'usage pour affinage d'huîtres de consommation, et on perdait la liberté de transplanter ses huîtres comme on le voulait. Un système de quarantaine était obligatoire pour les huîtres élevées sur des parcs touchés très légèrement par la pollution.

En outre, le système nouveau ne manquait pas de coûter cher au Gouvernement. Non seulement devait-on mettre sur pied un laboratoire pour le contrôle bactériologique, avec un personnel approprié, mais, en outre, on avait besoin d'une surveillance beaucoup plus stricte, et intensive qu'on avait jadis pour la lutte contre les maraudeurs. De cette époque date le nombre assez grand de bateaux de surveillance, jusqu'à 1940 travaillant jour et nuit, ainsi qu'un nombre appréciable de contrôleurs à terre. La ville d'Yerseke, le vrai centre pour l'expédition des coquillages de toutes sortes, devait accepter toute une série de mesures strictes assurant la pureté bactériologique des eaux des bassins ostréicoles, y inclus l'interdiction d'accès sur les chantiers conchylicoles des chiens et des personnages porteurs de germes.

Des mesures semblables étaient prises en France et dans toutes les régions conchylicoles en Europe et aux Etats-Unis. Le Gouvernement voyait le nombre de ses employés augmenter et devait consentir des frais pour la flotte de surveillance. L'industrie conchylicole devrait être très reconnaissante au Gouvernement de supporter tous ces frais sans percevoir de taxes. En réalité, on entend souvent en France les complaintes des ostréiculteurs pour les quelques centimes qu'on doit payer pour les étiquettes sanitaires.

Aux Pays-Bas, on s'estime très heureux que le système de contrôle bactériologique, d'abord appliqué aux huîtres, maintenant aussi sur les moules et les autres coquillages qui peuvent être dégustés à l'état cru, marche si bien depuis le commencement du siècle qu'on ne connaît pas un seul cas de typhoïde, choléra ou autre maladie contagieuse transmis par des coquillages portant l'étiquette sanitaire. Que la situation ne soit pas tellement parfaite en France est à attribuer au fait qu'en Pays-Bas, l'expédition est complètement concentrée à Yerseke, ce qui rend possible de suivre de près tout ce qui se passe dans l'industrie conchylicole, tandis que le contrôle est beaucoup plus difficile en France avec son grand nombre de centres d'expédition. Il est presque impossible en France de suivre chaque lot d'huîtres et de connaître l'origine de toutes les huîtres entreposées dans les bassins. Il y a toujours des fraudeurs qui menacent réellement l'avenir de toute l'industrie conchylicole. Pour la même raison on ne peut pas analyser un échantillon de chaque lot d'huîtres dans les bassins et on estime qu'environ 5 % des coquillages expédiés échappe au contrôle, quoique souvent munis en fraude d'étiquettes sanitaires. On doit ajouter que des estivants récoltent souvent des coquillages sauvages tout près des égouts, et, quand ils tombent malades, ils menacent tout le commerce conchylicole lorsque la nouvelle est diffusée par la presse.

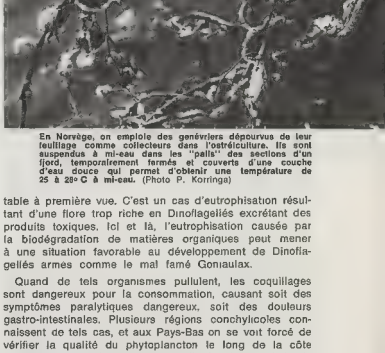
Peut-on envisager que le contrôle sanitaire des coquillages puisse continuer à fonctionner dans l'avenir, comme il fonctionne jusqu'à présent ? Les salaires des employés du Gouvernement pèsent plus lourdement sur les budgets que jadis et la flotte demande des sommes appréciables. Les Ministères se demandent si on peut continuer avec un contrôle aussi rigide que jadis. Les agglomérations continuent à décharger par leurs égouts les déchets domestiques non purifiés. Les installations de purification ne s'installent que petit à petit, et pas en premier lieu près de la côte où les eaux salées peuvent accepter les déchets sans gêner les habitants des villes. En outre, l'industrie chimique se répand rapidement et ajoute ses déchets aux déchets domestiques dans les rivières et les estuaires. Les coquillages, qui filtrent l'eau pour la récolte de nourriture, mais aussi pour la récolte d'ions de calcium pour faire croître leur coquille, ne peuvent éviter que certains ions déchargés par l'industrie chimique, parmi lesquels des métaux lourds, s'accumulent dans leurs tissus. Surtout dans les cellules de Leydig du tissu conjonctif, on peut souvent observer des multitudes de leucocytes pleins de petits granules, pleins de fer, de cuivre, de mercure, etc.

Cela est connu depuis longtemps, depuis l'époque de Herdman et Boyce, et on connaît, en Portugal et en Cornouailles, des endroits où les huîtres montrent une couleur bien verte de leurs tissus conjonctifs, à attribuer à des sources naturelles de cuivre. De telles huîtres sont immangeables à cause de leur goût astringent et n'offrent ainsi aucun danger pour le consommateur ; mais c'est tout autre chose quand il s'agit de mercure, que notre palais ne reconnaît pas. En outre, l'industrie chimique rejette souvent des produits organiques aux odeurs assez fortes, des produits qui ne sont pas d'une biodégrabilité aussi rapide que les déchets domestiques. De tels produits, par exemple ceux provenant de l'industrie domestique pétrolière, peuvent être accumulés par les coquillages, souvent sans les tuer. Des coquillages avec un tel parfum chimique ne peuvent être acceptés par le marché, même pas quand le produit n'est pas nuisible pour la santé humaine. Mais on connaît aussi des cas d'accumulation des matières organiques toxiques comme certains hydrocarbures chlorés, surtout chez les moules. La Santé publique doit en tenir compte Quand on ne peut pas obliger l'industrie chimique à éliminer de tels produits de leurs déchets versés dans l'eau, les ostréiculteurs et les mytiliculteurs se trouvent forcés de se retirer des terrains atteints par les déchets

Mais aussi, du côté de la Santé publique on ne peut être sûr d'un changement. Le choléra et la typhoïde sont plus rares que jadis et le risque d'attraper ces maladies par la consommation des coquillages munis d'étiquettes sanitaires, indiquant un bon contrôle bactériologique, a bien diminué par rapport au début de ce siècle. Mais on a compris que d'autres maladies, comme l'hépatite, peuvent, elles aussi, être transférées par les coquillages. On ne peut pas prouver directement que le virus de l'hépatite se trouve dans un échantillon d'eau de mer ou dans un coquillage, mais on n'a pas non plus essayé de prouver la présence des germes de choléra et de typhoïde dans le passé. On se contentait de déterminer le nombre d'*Escherichia coli* thermotolérante dans l'eau et dans les coquillages. Elles servent comme indicateurs excellents pour la présence de matière fécale et peuvent indiquer la mesure de dilution de l'eau déchargée par les égouts. Cela est vrai aussi pour les virus comme ceux de l'hépatite ; *Escherichia coli* indique nettement la présence de matière fécale et ainsi le degré de pureté de l'eau et des coquillages

Il est indiscutable que l'hépatite se répand de nos jours plus que jadis, contrairement aux cas de choléra et de typhoïde, et comme on ne sait pas encore bien combien de temps le virus de l'hépatite peut survivre dans le milieu marin, il est possible que les autorités de la Santé publique exigeront un jour des mesures encore plus strictes pour les coquillages destinés à la consommation crue. Cela signifie la perte de nouveaux terrains pour la culture et de bassins pour l'entrepôt de coquillages destinés au marché, et aussi des mesures plus strictes et plus coûteuses pour les installations d'épuration d'huîtres et de moules, comme celles en usage en Angleterre et en Espagne où on ne trouve pas suffisamment d'eaux assez pures tout près de la côte.

Partout dans le monde la pollution menace l'industrie conchylicole de plus en plus. Les terrains les plus abrités avec des courants faibles, facilitant la fixation de larves d'huîtres, sont déjà perdus pour l'ostréiculture en de nombreux pays. On doit se contenter pour la fixation de naissain de terrains moins abrités, montrant des courants de marée plus forts, souvent avec des résultats moins bons. En outre, on a pu observer qu'en dehors d'une zone nettement polluée on trouve des eaux plus claires, riches en oxygène, avec une couleur bleu-verdâtre et riches en petits flagellés. Ces eaux sont nocives pour les larves d'huîtres et d'autres coquillages, qui meurent rapidement dans cette eau biologiquement acceptable à première vue. C'est un cas d'eutrophisation résultant d'une flore trop riche en Dinoflagellés excrétant des produits toxiques. Ici et là, l'eutrophisation causée par la biodégradation de matières organiques peut mener à une situation favorable au développement de Dinoflagellés armes comme le mal famé Goniaulax.



**En Norvège, on emploie des gênéviers dépourvus de leur feuillage comme collecteurs dans l'ostréiculture. Ils sont suspendus à mi-eau dans les "pails" des sections d'un fjord, temporairement fermés et couverts d'une couche d'eau douce qui permet d'obtenir une température de 25 à 28° C à mi-eau.** (Photo P. Korringa)

Quand de tels organismes pullulent, les coquillages sont dangereux pour la consommation, causant soit des symptômes paralytiques dangereux, soit des douleurs gastro-intestinales. Plusieurs régions conchylicoles connaissent de tels cas, et aux Pays-Bas on se voit forcé de vérifier la qualité du phytoplancton le long de la côte pendant tout l'été pour assurer l'industrie conchylicole et le public qui recevra des produits impeccables. En 1961, et de nouveau en 1971, on a dû fermer la vente de moules pendant quelques semaines parce que la flore aquatique montrait une pullulation dangereuse de dinoflagelles et parce que des expériences avec des rats blancs montraient une toxicité temporaire des moules. Bien qu'on ne connaisse pas encore tous les facteurs qui mènent à une telle situation, une eau trop riche en sels nutritifs constitue probablement l'un de ces deux facteurs.

Bien que le public soit mieux instruit que jadis sur le sujet de pollution des eaux et toutes ses conséquences, la législation qui peut supprimer la pollution ne se développe que lentement. La population des agglomérations augmente toujours et l'industrie chimique se développe rapidement. C'est pourquoi la pollution des estuaires et des eaux côtières augmente encore, au lieu de diminuer. L'industrie conchylicole perd ses meilleurs terrains abrités pour le captage du naissain et se voit forcée de travailler sur des terrains plus ouverts, présentant de grands risques pendant des intempéries. C'est une des raisons pour lesquelles on ne peut envisager un développement rapide de la production de coquillages comestibles.

⁂

Malheureusement, il y a encore d'autres facteurs qui empêchent une telle augmentation de la production. Les huîtres et les moules représentent la seconde maille de la chaîne alimentaire, parce qu'elles se nourrissent du phytoplancton et de ses restes déjà morts, sont les organismes marins les plus propices pour produire à la

Dinoflagellé *Prorocentrum micans* (Photo M. Kas)

base de la production primaire une grande quantité de produits alimentaires riches en protéines, beaucoup plus que par médiation de poissons qui appartiennent presque toujours aux troisième et quatrième maillons. Ce n'est pas seulement la pollution des mers qui empêche la multiplication des tonnages de coquillages cultivés. On doit considérer aussi que les habitants des agglomérations désirent de plus en plus se recréer pendant les vacances et les week-ends. Pour cela, on se rend non seulement à la plage, mais aussi vers les estuaires bien abrités. La pression politique de ce côté ne manque pas d'augmenter quand l'industrie conchylicole demande aux autorités le privilège exclusif pour utiliser des terrains pour leur industrie. Dans plusieurs pays, il est déjà devenu impossible d'utiliser les terrains les plus propices pour la conchyliculture. Quand on considère le nombre de gens qui veulent se livrer aux loisirs aquatiques, il semble bientôt de plus en plus difficile d'augmenter la production conchylicole

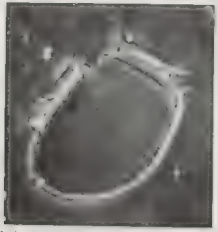
Un autre facteur empêchant une augmentation rapide de la production d'huîtres, quoique biologiquement et techniquement bien possible, est l'observation que des maladies causées par des organismes microscopiques frappent trop fréquemment l'ostréiculture. On a observé des pertes sensibles dans plusieurs régions ostréicoles aux Etats-Unis, mais aussi en Europe, surtout en France : pour les huîtres portugaises, en 1958, et de nouveau — et encore plus sévères — en 1971 et 1972 ; pour les huîtres plates, en Bretagne, depuis quelques années ; et récemment pour l'huître japonaise qu'on croyait résistante aux attaques des micro-organismes. Il est bien compréhensible que l'on hésite à investir dans une telle industrie pleine de risques.

Les moules ont jusqu'à présent échappé aux attaques des micro-organismes. On connaît bien des ennemis de

**En Australie, on emploie des treillis en bois dur comme collecteurs. Pour l'élevage et l'affinage, on place les treillis dans un secteur de la ferme bien protégé et riche en plancton. Les treillis sont placés sur des supports de bois. La photo a été prise par basse mer.** (Photo A. Saln)

la moule, des prédateurs comme les crabes, les étoiles de mer et des oiseaux, ainsi que des parasites comme le *Mytilicola intestinalis*, mais, comme règle, une lutte contre les organismes pouvant être distingués à l'œil nu est bien possible. Néanmoins, une augmentation de la production, quoique biologiquement et techniquement bien possible, ne semble pas être très probable. La difficulté est de trouver des marchés pour ce produit savoureux à prix modeste. Même en Europe il y a des pays entiers où personne ne les connaît ou n'ose les déguster. Quoique la consommation crue, toujours difficile pour ceux qui ne les connaissent pas depuis leur jeunesse n'est pas du tout nécessaire, et quoiqu'il y a des plats très savoureux à base de moules, des populations entières, en Europe et en Amérique, ne les acceptent pas, ou en tout cas pas encore. Une certaine aversion contre tous les Invertébrés comme aliment humain et des préceptes religieux plus ou moins vagues empêchent des centaines de millions d'habitants de notre planète de considérer les moules comme un produit comestible. Le cas le plus

Dinoflagellé *Dinophysis acuta*. (Photo M. Kas)



étonnant est celui du Japon, où l'on dépend, pour ses protéines animales, pour presque 10 % des produits marins. Quoiqu'on y mange tout un assortiment d'Invertébrés marins, on considère la moule comme écœurante.

Bien que la pénurie en protéines animales qu'on observe dans maints pays du tiers monde exige une augmentation rapide de la production, ce qui est réalisable, il semble peu probable que l'organisme le plus facile à cultiver et avec la meilleure conversion de phytoplancton en aliment humain savoureux devienne le meilleur produit pouvant satisfaire la faim de centaines de millions d'êtres humains.

# Concentrations en pesticides (P.C.B. et résidus de D.D.T.) dans l'eau et dans les mollusques de la zone des Embiez

*par Pierre ESCOUBET **
*Jean-Louis MONOD ***
*Nardo VICENTE ****

* Fondation scientifique Ricard - Observatoire de la mer, Ile des Embiez, Le Brusc - 83140 Six-Fours-les-Plages

** Laboratoire d'Hydrobiologie, Faculté de pharmacie, La Timone - 13006 Marseille

*** Laboratoire de Biologie marine, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme - 13013 Marseille, et Observatoire de la mer, Ile des Embiez, Le Brusc - 83140 Six-Fours-les-Plages

## RÉSUMÉ

Des analyses de Pesticides (PCB et résidus de DDT) effectuées pour l'eau de mer et pour des Mollusques (Moules, Poulpes) de la zone des Embiez (Var-France) montrent que les concentrations rencontrées sont parmi les moins importantes du littoral méditerranéen.

Il convient toutefois de poursuivre cette étude sur le phytoplancton, source de nourriture des mollusques filtreurs, et sur le sédiment où vivent les Bivalves endogés.

## SUMMARY

Analysis of Pesticides (PCB and residues of DDT) carried out in sea water and Molluscs (*Mytillus* and *Octopus*) of the Embiez country (Var-France) show that concentrations found are the less important from the mediterranean coast.

Hovewer it is convenient to carry on this study with phytoplancton that is a source of food for suspensors feeding as Molluscs, and with the sediment where underground Bivalves live.

Les résidus organochlorés utilisés couramment dans l'agriculture et l'industrie sont des composés chimiques répandus aussi bien dans les écosystèmes terrestres que dans les écosystèmes marins. Le nombre de travaux sur ces résidus dans le milieu marin sont de nos jours plus nombreux, notamment sur la côte méditerranéenne française (Monod et al., 1971, de Lappe et al., 1972, Raybaud, 1972, Escoubet, 1974, Marchand et al., 1974, Escoubet et Vicente, 1976)

La zone des Embiez constitue un site favorable pour la réalisation d'expériences de conchyliculture en bassins aménagés dans des salines désaffectées.

Encore faut-il préserver le milieu naturel de toute forme de pollution. La lutte contre ce fléau, dont est responsable la technicité humaine, doit être poursuivie sans relâche, c'est un préalable nécessaire au succès de l'aquaculture sur notre littoral. Dans cette optique une recherche des taux de pesticides dans l'eau de mer et chez les Mollusques a été réalisée dans ce secteur.

### METHODES ET TECHNIQUES

Les échantillons d'eau de mer et les Mollusques ont été prélevés manuellement autour de l'île des Embiez. Ces échantillons ont été ensuite transférés dans des sacs en aluminium préalablement traités et testés pour leur absence de résidus pouvant interférer lors de l'analyse. Ils sont ensuite congelés et transportés au laboratoire où les analyses sont effectuées

Pour l'eau on utilise la technique décrite par Raybaud (1972).

Lors de la mise en œuvre des analyses pour les moules la matière organique est séparée des coquilles et filtrée sur un tamis métallique pour éliminer les particules présentes. Le poids sec est déterminé après lyophilisation pour les animaux

L'extraction lipidique est réalisée selon la méthode decrite par Monod et *al.*, 1971.

La purification de l'extrait organique recueilli, qui a pour but de séparer les polluants organochlorés des lipides auxquels ils sont étroitement liés, est effectuée par une attaque sulfurique, suivant la technique décrite par Murphy (1972). La fraction hexanique renfermant les PCB, le DDT et ses métabolites, est ensuite analysée par chromatographie en phase gazeuse, équipée d'un détecteur à capture d'électrons avec une source de Ni-63.

Les conditions opératoires sont les suivantes :

- Passage au four à 180°C
- Injecteur à 230°C
- Détecteur à 350°C
- Débit d'azote . 80 cc/mn

Colonne de 2 m : 3 % $OV_1$ sur gaz Chrom Q (80-100 mesh)

5 % $OV_{210}$ sur Chrom WAW (80-100 mesh)

L'appréciation quantitative du PCB est effectuée sur le pic ayant un temps de rétention de 1,79 par rapport au

dérivé éthylénique (DDE) sur une colonne garnie de 3 % $OV_1$, pic n'interférant pas avec le DDT et ses métabolites.

Les quantités de DDD et de pp'DDT sont appréciées après saponification par KOH/EDTA qui les transforme en leurs dérivés éthyléniques respectifs (DDMU et pp'DDE)

## RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau ci-après (tableau 1).

région de mytiliculture comme Saint-Mandrier qui se trouve dans une rade portuaire.

Dans ce cas, la pollution par les PCB varie dans un rapport égal à 5 ou 6 en moyenne

Si on la compare à la pollution excessive d'une grande ville industrielle comme Marseille, ou bien à l'embouchure du Rhône, ou encore à Toulon, ce rapport est égal à 10

Les concentrations de PCB dans les eaux de surface sont négligeables. Dans les moules, les variations de DDT sont moins importantes que celles des PCB.

| Eléments analysés | DDE | Σ DDT | PCB |
|---|---|---|---|
| Eau de mer (Embiez) | ND* | ND | 0,13 |
| Larves du plancton | 41 | » | 1546 |
| Moules (M. galloprovincialis) | 128 | » | 641 |
| Poulpes (O. vulgaris) | 35 | 29 | 415 |

* Non décelé

**Tableau 1. — Les valeurs indiquées sont des valeurs moyennes obtenues par l'analyse de nombreux échantillons.**

Pour les organismes les valeurs sont données en ppb par poids sec

Les chromatogrammes montrent la présence des composés de la famille du DDT (DDT, DDE, DDD), de même que des polychlorobiphényles (PCB), comparables aux substances trouvées dans le commerce en France sous le nom de Phénochlor DP6

Des travaux du même type, réalisés par Marchand et al. (1974) et Monod et Chastin (1975) sur tout le littoral méditerranéen, montrent que les Mollusques, et en particulier les Bivalves comme la moule (*Mytilus galloprovincialis*), sont largement contaminés par le DDT et les PCB (tableau 2).

*Le rapport*

$\Sigma$ DDT/PCB ($\Sigma$ DDT = DDE + DDD + DDT) est généralement inférieur à 1 (ici il est peu différent de 0,2 pour les moules et de 0,15 pour les poulpes ; alors que, dans les zones très polluées comme Marseille, il est de l'ordre de 0,9 et que sur les côtes italiennes où l'usage du DDT demeure, ce rapport est supérieur à 1 et varie entre 2,43 et 4,27 pour une région comme San Remo

A titre indicatif nous avons donné la concentration des PCB dans des larves de plancton (1546 ppb), supérieure aux données de Marchand et al. (1974) pour le total phytoplancton + zooplancton = 213 ppb dans la région

| Stations | Travaux de Marchand, et al. 1974 | Travaux de Monod et al. 1975 |
|---|---|---|
| Ouest du Rhône (entre Cerbère et Grau-du-Roi) | | 1500 |
| Grau-du-Roi | 2746 | |
| Rhône-Beaucaire | | 5000 |
| Port-Saint-Louis | 1398 | |
| Marseille | | |
| (vers Cortiou) | 6258 | 5000 |
| Bec-de-l'Aigle | 1084 | |
| Zone Cassis-Sanary | | |
| Cap Sicié | 1060 | 1000 |
| Saint-Mandrier | 3734 | |
| Rade de Toulon | 6681 | 4000 |
| Est-Toulon | | 2000 |
| Cap Camarat | 396 | |

**Tableau 2. — Contamination des moules par le PCB sur le littoral méditerranéen (valeurs moyennes en ppb/poids sec).**

Ces données montrent l'importance de la contamination des Bivalves au voisinage des zones portuaires et industrielles (Marseille, Toulon). De 1974 à 1975, l'augmentation de cette pollution par les PCB est importante dans la zone de l'embouchure du Rhône, et une zone à faible concentration apparaît ensuite à l'est de Toulon, vers le cap Camarat

En effet, à l'est de Toulon, la présence des grandes fosses de plus de 2.000 mètres permet un renouvellement des eaux littorales, qui sont ainsi moins affectées par les apports continentaux

Les résultats obtenus dans la zone des Embiez montrent que les Mollusques dans ce secteur sont nettement moins contaminés par le DDT et le PCB que dans une voisine du Bec de l'Aigle à La Ciotat. Il serait souhaitable de procéder à des analyses du phytoplancton, source de nourriture pour les Bivalves. Si l'on se réfère aux données de Marchand et al. (1974) pour des stations prises à Monaco et à Saint-Raphaël, on constate que la concentration des PCB dans les moules est quatre à six fois supérieure à celle rencontrée dans le phytoplancton.

Enfin, dans le cas des Bivalves endogés, il est indispensable de tenir compte de la pollution du sédiment par les résidus organo-chlorés qui y persistent et pour lequel le raport $\Sigma$ DDT/PCB peut être supérieur à trois dans les zones comme les côtes italiennes où le DDT se retrouve le principal polluant, alors que sur notre rivage, le rapport est voisin de 0,1, les PCB étant les principaux contaminants

Fort heureusement, depuis deux ans il existe une réglementation qui interdit l'emploi des PCB non isolés du milieu ambiant. Depuis lors, on note une diminution de leur concentration dans l'eau de mer et dans le plancton.

En tout état de cause, les valeurs relevées pour les Mollusques vivant dans les fonds autour des Embiez sont parmi les plus faibles observées en Méditerranée. Cette zone, de par sa topographie et sa situation géographique, dans un secteur dont la vocation est avant tout touristique, constitue un milieu des plus favorables à la culture des Mollusques bivalves.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


DE LAPPE B.W., RISEBROUGH R.W., MENDOLA J.T., BOWES G.W. et MONOD J.L., 1972. — Distribution of polychlorinated biphenyls on the Mediterranean coast of France Journées d'étude sur les pollutions marines, C.I.E.S.M., Athènes, 3-4 novembre 1972 : 43-46

ESCOUBET P., 1974. — Effets d'une pollution alimentaire par un organochloré chez la Rascasse *Scorpaena porcus* Linné 1758 Thèse Biol. Appl. Marseille, 18 juin 1974, 82 pp.

ESCOUBET P. et VICENTE N., 1976. — Effets de doses sublétha es de lindane sur l'activité de la Glucose-6-phosphatase hépatique et sur le taux de glycogène tissulaire de la Rascasse *Scorpaena porcus*. *Ann. Inst. Michel Pacha*, 8, p. 55-62.

MARCHAND M., VAS D., DUURSMA E., 1974. — Résidus de D.D.T. et de polychlorobiphényles (PCB) dans les moules, le sédiment et le plancton de la côte nord-ouest méditerranéenne. IIe Journée d'Etudes Pollutions, C.I.E.S.M., Monaco : 171-174

MONOD J.L., RAYBAUD H., VENOT C. et CARRARA G., 1971. — Identification et dosages des polychlorobiphényles (PCB) et des métabolites du D.D.T. chez la sardine *(Sardina pilchardus* L.). *Bull. Soc. de Pharmacie Marseille*, 20 (75) : 155-160

MONOD J.L. et CHASTAN J.P., 1975. — Journées du Secrétariat Général du Haut-Comité de l'Environnement, Toulouse, septembre 1975

MURPHY P.G., 1972. — Sulfuric Acid for the clean up of animal tissues for analysis of chlorinated hydrocarbons residues J.A.O.A.C., 55 (6) : 1360-1363.

RAYBAUD H., 1972. — Les biocides organochlorés et les détergents anioniques dans le milieu marin. Thèse Doct. Spéc. Chim., Aix-Marseille II, 64 pp.

# Influence d'un hydrocarbure pur, le N-Decane sur la croissance, la respiration et l'activité motrice de larves de *Mytilus edulis (L.)*

*par Sylvie LE ROUX*

Laboratoire de Zoologie, Aquaculture et Pollutions Marines.
Université de Bretagne Occidentale, 29279 Brest Cédex

Travail réalisé sur contrat C.N.E.X.O

De nombreux auteurs ont étudié la toxicité de pétroles bruts et d'hydrocarbures en mesurant la mortalité provoquée par ces produits sur diverses espèces animales. Peu ont étudié les effets sublétaux des hydrocarbures, notamment sur des populations larvaires. Nous avons étudié l'influence de pollutions par divers hydrocarbures sur la croissance larvaire de *Mytilus edulis* (L.). Les résultats obtenus après traitement au N-décane nous ont paru particulièrement intéressants, la croissance devenant plus forte avec l'augmentation de la concentration en N-décane.

Nous avons prolongé l'étude des effets sur la croissance par des mesures de la consommation en oxygène et par l'observation de l'activité motrice de populations soumises à diverses concentrations de cet hydrocarbure. Les résultats obtenus montrent qu'il y a accroissement de l'activité métabolique lorsque les larves sont soumises à une pollution au N-décane.

## I. MATERIEL ET METHODES

### 1. Mise en solution du N-décane :

Le N-décane, hydrocarbure paraffinique de la famille des alkanes, nous a été fourni par l'Institut français du pétrole.

Dans un Erlenmeyer de 2 litres, 10 ml de N-décane sont mélangés à 1 litre d'eau de mer filtrée. Le mélange est effectué par agitation magnétique lente pendant 24 heures, de façon à ne pas former d'émulsion. La solution est ensuite décantée pendant 6 heures et la fraction aqueuse est diluée dans de l'eau de mer.

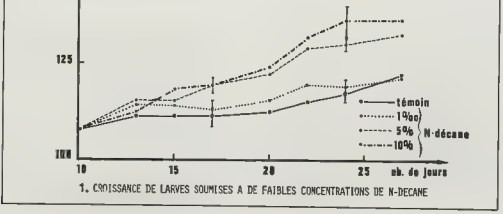
Le N-décane est très peu soluble dans l'eau. Divers dosages, réalisés par l'Institut français du pétrole sur nos mélanges, ont révélé des concentrations allant de 0,06 ppm à 0,48 ppm dans les solutions obtenues.

### 2. Traitement des larves :

Les larves obtenues et élevées par la méthode décrite précédemment (Lucas et al., 1976) sont réparties à raison de 20 000 par élevage de 2 litres. Elles sont filtrées sur un filtre de 40 microns de vide de maille, rincées sur le filtre avec la solution de traitement, puis mises en bécher fermé hermétiquement contenant la solution de traitement.

### 3. Mesures de respiration :

Les larves sont enfermées hermétiquement dans des flacons à col rodé de 100 ml et contenant 100 ml de la solution de traitement. Au bout de 24 ou 48 heures, l'oxygène dissous est mesuré par la méthode de Winkler.




1. CROISSANCE DE LARVES SOUMISES A DE FAIBLES CONCENTRATIONS DE N-DECANE

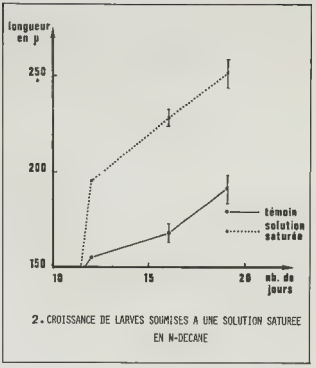
## II. RESULTATS

### 1. Croissance de populations larvaires traitées au N-décane :

Nous avons réalisé 3 expériences successives. Dans la première, les dilutions du N-décane étaient fortes : nous avons testé les concentrations 1 ‰ — 5 % et 1 % d'une solution saturée, sur des larves de 6 jours. Des tests statistiques effectués aux dix-septième et vingt-quatrième jours ont montré que la croissance des populations soumises aux doses 5 % et 1 % a été significativement plus forte que celle des deux populations témoins. Seule la dilution 1 ‰ a eu pour résultat une croissance identique à celle des témoins (Fig. 1).

Afin de préciser ces résultats, nous avons traité des larves de 5 jours avec une solution saturée. Des tests statistiques effectués aux seizième et dix-neuvième jours ont montre des différences significatives au seuil de 1 % entre les moyennes, avec une croissance plus forte pour les populations traitées (Fig. 2).

Dans ces deux premières expériences, les larves ont subi une Contamination Temporaire qui a duré 1 heure. Une Contamination Permanente de 15 jours a été également réalisée, aux mêmes concentrations que dans la première expérience. Nous n'avons observé aucune mortalité significative dans les élevages traités. Nous n'avons pas observé de différence significative avec les populations témoins, en ce qui concerne la croissance (Fig. 3).



2. CROISSANCE DE LARVES SOUMISES A UNE SOLUTION SATUREE EN N-DECANE

### 2. Activité motrice de populations larvaires traitées au N-décane :

Les larves ont été maintenues dans la solution de traitement pendant 48 heures et observées durant cette période. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

| Temps après traitement / Type de traitement | 2 mn | 5 mn | 15 mn | 1 h | 20 h | 24 h (3 h après nutrition) | 48 h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Témoin | | | | | | | |
| N-décane 1 °/oo | | | | | MOUVEMENTS ANORMAUX PRES DU FOND | LES LARVES NAGENT DANS TOUTE LA COLONNE D'EAU | |
| 10°/oo | LES LARVES NAGENT PRES DU FOND | | | | | | |
| 100°/oo | ARRET DE TOUT MOUVEMENT | | | | | | |
| Solution saturée | | | | | | | |

Quelle que soit la dose de traitement, les larves réagissent, mais leur réaction est plus ou moins lente selon la concentration en N-décane. Au bout d'une heure, toutes les larves sont posées sur le fond, valves fermées. Au bout de 20 heures, les larves ont de faibles mouvements sur le fond, velum développé. Nous n'avons pu observer les larves dans cet intervalle. A 24 heures toutes les larves sont nageuses, sauf dans la solution à 100 ‰. A 48 heures, toutes les larves sont nageuses

### 3. Respiration :

Deux expériences ont été réalisées. Dans la première, les dilutions 1 ‰ - 1 % - 50 % et 80 % de la solution saturée ont été testées. Les mesures d'oxygène dissous ont été réalisées à 24 heures et 48 heures sur 3 flacons de 1 000 individus par dilution. Dans la seconde expérience, les dilutions 1 ‰ - 1 % - 10 % - 50 % et 80 % ont été testées. Les mesures ont été réalisées à 24 heures sur 5 flacons de 1 000 larves par dilution.

Dans les deux expériences, on a également mesuré la consommation en oxygène de populations non traitées.

La consommation en oxygène est calculée de la façon suivante :

$$R = Q_t24 - Q_t24$$

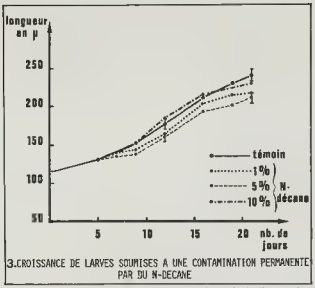
— où $Q_t24$ est la quantité d'$O_2$ dissous au bout de 24 heures dans un flacon d'eau filtrée,

— et $Q_t24$ est la quantité d'$O_2$ dissous au bout de 24 heures dans un flacon contenant des larves.

On observe une augmentation de la consommation en oxygène qui croît avec la concentration en N-décane, à partir de la dose 1 %. Les résultats apparaissent dans la figure 4 ci-dessous :

## III. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les comparaisons de croissance et les mesures de la consommation d'oxygène nous montrent clairement l'effet



3. CROISSANCE DE LARVES SOUMISES A UNE CONTAMINATION PERMANENTE PAR DU N-DECANE

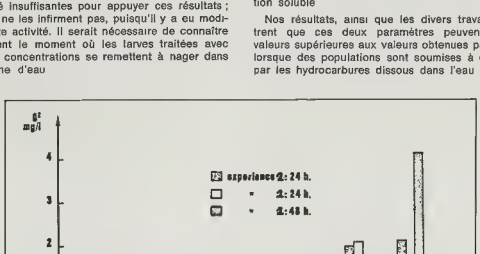
du traitement par le N-décane sur le métabolisme des larves de *Mytilus edulis*. Les observations sur l'activité motrice ont été insuffisantes pour appuyer ces résultats ; toutefois, elles ne les infirment pas, puisqu'il y a eu modification de cette activité. Il serait nécessaire de connaître plus précisément le moment où les larves traitées avec les plus fortes concentrations se remettent à nager dans toute la colonne d'eau

Plusieurs auteurs ont observé ce phénomène d'accroissement du métabolisme pour diverses espèces animales traitées par différents hydrocarbures : R.D. Anderson l'observe chez *Crassostrea virginica* adulte, traitée par les produits solubles issus de pétroles bruts. Il observe également qu'un traitement prolongé n'affecte pas sensiblement la croissance d'huîtres adultes. B.T. Hardgrave et C.P. Newcombe observent une augmentation de la consommation d'oxygène et du « taux de glissement » chez une Littorine, traitée par du pétrole brut, alors que cette même espèce présente un ralentissement du métabolisme lorsque ce pétrole est mélangé à un émulsifiant peu toxique.

Des effets identiques ont été observés chez des saumons (R.W. Brocksen § H.T. Bailey) et chez des larves de hareng (J.W. Struhsaker et al.) traités par des doses sublétales de benzène, pendant des périodes inférieures à 24 heures.

Dans ce travail, seuls les effets dus à la fraction soluble dans l'eau (F.S.E.) ont été étudiés. Dans ce cas, la consommation d'oxygène en 24 heures et la réponse à plus long terme que constitue la croissance sont deux paramètres significatifs des effets produits par cette fraction soluble

Nos résultats, ainsi que les divers travaux cités, montrent que ces deux paramètres peuvent prendre des valeurs supérieures aux valeurs obtenues pour les témoins lorsque des populations sont soumises à des traitements par les hydrocarbures dissous dans l'eau de mer.



4. CONSOMMATION D'OXYGENE DE POPULATIONS LARVAIRES SOUMISES A DES CONCENTRATIONS CROISSANTES DE N-DECANE

## BIBLIOGRAPHIE


ANDERSON R.D., 1974. — Effects of petroleum hydrocarbons on the physiology of the american oyster. *Crassostrea virginica* Gmelin. *Dissertation Abstracts International, Vol. XXXIV, n° 12.*

BROCKSEN R.W. and BAILEY H.T., 1973. — Respiratory response of juvenile chinook salmon and striped bass exposed to benzene a water-soluble component of crude oil. *Proc. of joint conf. on prevention and control of oil spill. Washington.*

HARGRAVE B.T. and NEWCOMBE C.P., 1973. — Crawling and respiration as indices of sublethal effects of oil and a dispersant on an intertidal snail *Littorina littorea*. *J. Fish. Res. Board Can., 31 (12), 1789-1792.*

LUCAS A. et al., 1976. — Elevages expérimentaux de larves de mollusques marins. Laboratoire de Zoologie, Aquaculture et Pollutions marines. Brest.

STRUHSAKER J.W. and al., 1974. — Effects of benzene (a water-soluble component of crude oil) on eggs and larvae of pacific herring and northern anchovy. *"Pollution and physiology of marine organisms". Ed. by F.J. Vernberg. Vinona B Vernberg, Acad Press N.Y., p. 253-264.*

# Corrélation entre la quantité de polluants accumulés dans le corps et la taille de quelques mollusques lamellibranches

*par Adel HAMOUI*

Département de Zoologie, faculté des sciences, Université de Damas, République Arabe Syrienne

## RÉSUMÉ

Pour déterminer la relation entre la taille des mollusques lamellibranches et la quantité de métaux lourds accumulés dans leur corps, des palourdes *Tapes decussatus* L. et des coques *Cerastoderma glaucum* Bruguière, de différentes tailles ont été maintenues dans de l'eau de mer contenant 5 mg/l de plomb introduit sous forme de nitrate de plomb. Les résultats indiquent qu'il y a chez ces deux espèces un rapport linéaire entre la taille et la rétention de ce polluant.

## SUMMARY

To determine the relationship between the size of lamellibranch mollusks and the quantity of heavy metals accumulated in their body, *Tapes decussatus* L. and *Cerastoderma glaucum* Bruguière of different sizes were held in sea water containing 5 mg/l lead added in the form of lead nitrate The results indicate that there is, for these two species, a linear relationship between size and retention of this pollutant.

Le développement industriel actuel a pour conséquence un accroissement de plus en plus important des pollutions chimiques, notamment dans le milieu marin. On a déjà observé des taux plus élevés de divers micro-constituants de l'eau de mer et des sédiments dans les différentes régions du monde, en particulier dans la mer Méditerranée, de même qu'une grande variation de ces constituants au niveau régional. Ces quantités supplémentaires peuvent, par conséquent, constituer un grave problème pour la santé publique par la consommation des organismes marins, en particulier des mollusques bivalves dans lesquels certains produits toxiques peuvent être accumulés.

Les métaux lourds, en particulier le mercure, le cadmium et le plomb, sont généralement considérés comme les polluants les plus dangereux, et, par conséquent, retiennent particulièrement l'attention des chercheurs. Des études fondamentales sur la concentration de différents métaux dans les organismes marins sont déjà en cours dans de nombreux pays du monde Le plomb, lors d'expériences relatives à la toxicité aiguë, s'est révélé fortement toxique pour tous les types d'organismes marins. Etant donné qu'il est un inhibiteur typique des enzymes, il nuit au métabolisme biologique. Il s'accumule aisément chez les mollusques bivalves à l'état naturel, et on a trouvé de fortes concentrations de plomb dans les eaux marines adjacentes aux zones et aux côtes industrielles et touristiques où la densité démographique est élevée et la circulation automobile intense. Le plomb rencontré dans le milieu marin provient surtout du plomb tétraéthyle utilisé comme antidétonant dans l'essence

Les mollusques constituent une source alimentaire directe pour d'importants groupes de populations humaines. Les études ont montré que ces mollusques sont capables de concentrer sélectivement des matières chimiques jusqu'à un rapport de plusieurs centaines de fois supérieures à celui du milieu ambiant. Par conséquent, ils sont considérés, à juste titre, comme des vecteurs très importants des pollutions chimiques. La plupart des travaux consacrés à la contamination des mollusques tentent de définir les facteurs de concentration, les mécanismes de rétention des polluants et les organes dans lesquels ils s'accumulent. L'étude suivante se propose de déterminer la corrélation entre la quantité de plomb accumulé dans le corps et la taille des palourdes et des coques qui sont des organismes marins bien consommés par l'homme, ce qui s'avère utile dans le cadre des études de protection sanitaire

## MATERIEL ET METHODE

Les expériences ont été réalisées au Laboratoire de Biologie marine à la faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme, à Marseille

Quarante palourdes de différentes tailles (tableau 1), provenant de la région de Sète, sont réparties dans trois bacs en polyéthylène contenant chacun 10 litres d'eau de mer. Les bacs sont couverts par un couvercle de verre pour réduire l'évaporation. Ces aquariums fonctionnent en circuit fermé. L'eau de mer est introduite non filtrée dans les aquariums, elle est bien aérée et renouvelée tous les deux jours. Pour pallier le manque de renouvellement continu de l'eau, on utilise un "microfiltre" qui assure la filtration et la circulation. Les animaux sont maintenus pendant une semaine pour acclimatation, puis la contamination est poursuivie pendant deux semaines. La concentration du nitrate de plomb $Pb(NO_3)2$ utilisée est 8 mg/l, soit 5 ppm Pb. La température de l'eau est 15 ± 0,5°C. En fin d'expérimentation, les animaux sont pesés et la partie comestible sans liquide intervalvaire est conservée à l'état congelé dans des flacons de verre avant d'être analysée.

Les mêmes procédés sont utilisés pour des coques (tableau 2) provenant de l'île des Embiez (Var - France). La température de l'eau durant l'expérimentation est de 19 ± 0,5°C.

Les travaux ont été poursuivis dans un milieu renouvelé à l'Observatoire de la mer, île des Embiez (Var)

en collaboration avec M. A. Riva. 24 palourdes et 85 coques de différentes tailles sont maintenues dans un bac dont le fond est couvert par un sédiment, le débit de l'eau de mer est de 22 litres par heure. Après une semaine d'acclimatation, la contamination est poursuivie pendant 12 jours avec un débit contrôlé de solution de nitrate de plomb pour maintenir une concentration constante de plomb de 5 ppm. La température de l'eau est 22 ± 1°C

Les analyses chimiques sont effectuées de la manière suivante : les échantillons congelés sont homogénéisés dans un mortier de verre, 3,8 à 6 grammes (poids humide) sont traités par l'addition de trois gouttes d'une solution de chlorure de sodium (30 g/100 ml) suivie par attaque humide avec 8 ml d'une solution acide qui consiste en un mélange de 10 volumes d'acide perchlorique concentré avec deux volumes d'acide nitrique concentré. L'attaque est poursuivie pendant une nuit dans un bain-marie à 70°C. Trois gouttes d'une solution de chlorure d'hydroxyle d'ammonium (50 g/100 ml) sont ajoutées et l'échantillon est porté à 50 ml avec de l'eau distillée déminéralisée.

Pour les dosages du métal, les mesures ont été effectuées en double exemplaire, directement sur l'échantillon minéralisé. Les analyses ont été faites avec un spectrophotomètre d'absorption atomique modèle IL 353, par comparaison avec des étalonnages effectués simultanément dans les mêmes conditions

## RESULTATS

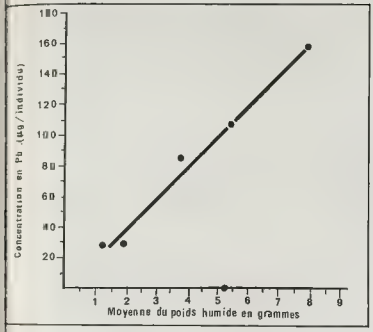
Les résultats de l'expérimentation dans un milieu confiné sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous (tableaux 1 et 2)

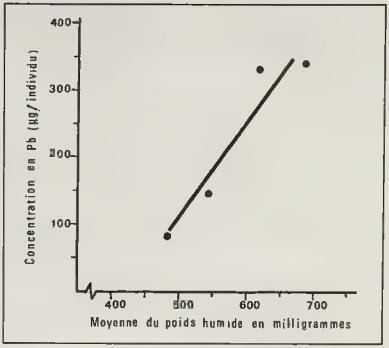
Tableau 1 - Concentrations en plomb (µg/g de substance humide et µg/individu) et facteurs de concentration en fonction de la taille des palourdes T. decussatus .

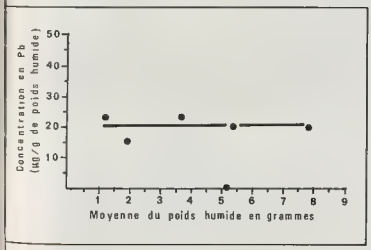
| Nombre d' individus | Moyenne du Poids total en g | Moyenne de la longueur en cm | Moyenne du poids humide en g | Concentration en Pb µg/individu | Concentration en Pb µg/g | Facteur de Concentration F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 4.930 | 2.870 | 1.232 | 28,000 | 22,727 | 4,545 |
| 5 | 6.890 | 3.360 | 1.930 | 29,000 | 15,026 | 3,005 |
| 5 | 14.674 | 4.330 | 3.750 | 86,156 | 22,975 | 4,595 |
| 5 | 18.122 | 4.560 | 5.224 | 0,017 | 0,003 | 0,00067 |
| 5 | 21.662 | 4.930 | 5.360 | 107,977 | 20,145 | 4,029 |
| 5 | 28.376 | 5.240 | 7.860 | 159,485 | 20,029 | 3,982 |
| Témoin 5 | 7.625 | 3.865 | 1.945 | 0,000 | 0.000 | —— |
| 5 | 17.240 | 4.720 | 4.398 | 0,000 | 0.000 | —— |

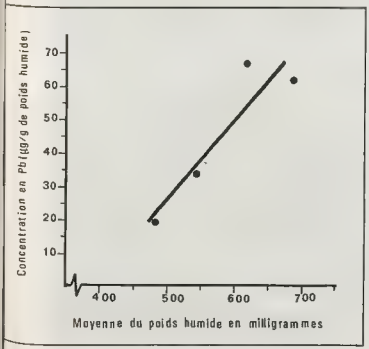
Tableau 2 - Concentrations en plomb (µg/g de substance humide et µg/individu) et facteurs de concentration en fonction de la taille des coques C. glaucum .

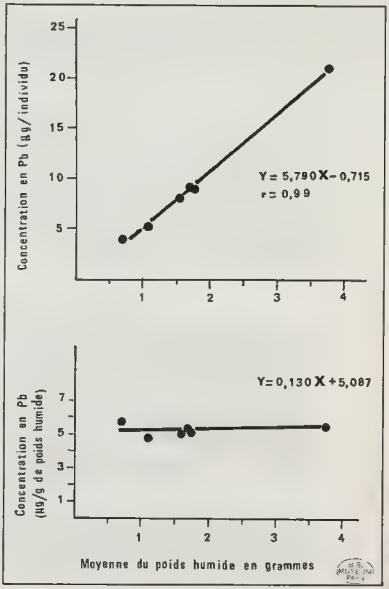
| Nombre d' individus | Moyenne du poids total en g | Moyenne de la longueur en cm | Moyenne du poids humide en g | Concentration en Pb µg/individu | Concentration en Pb µg/g | Facteur de Concentration F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 3,080 | 2,292 | 0,485 | 8,981 | 18,518 | 3,426 |
| 8 | 3,534 | 2,354 | 0,546 | 18,116 | 33,180 | 6,358 |
| 8 | 3,900 | 2,455 | 0,620 | 41,248 | 66,530 | 13,028 |
| 8 | 4,606 | 2,579 | 0,690 | 42,435 | 61,500 | 12,022 |
| Témoin 8 | 3,634 | 2,358 | 0,540 | 0,749 | 1,388 | —— |

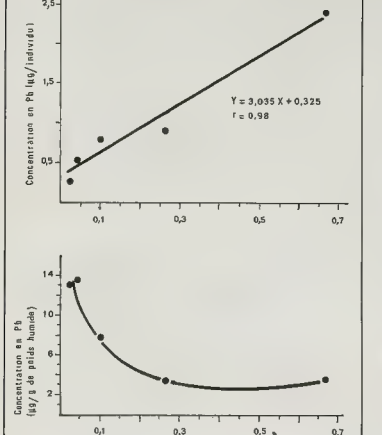

Concentration en Pb (µg/individu)
Moyenne du poids humide en grammes


Concentration en Pb (µg/individu)
Moyenne du poids humide en milligrammes


Concentration en Pb (µg/g de poids humide)
Moyenne du poids humide en grammes


Concentration en Pb (µg/g de poids humide)
Moyenne du poids humide en milligrammes


Concentration en Pb (µg/individu)
Y = 5,790 X - 0,715
r = 0,99
Concentration en Pb (µg/g de poids humide)
Y = 0,130 X + 5,087
Moyenne du poids humide en grammes




Les facteurs de concentration F qui désignent l'intensité de transfert du polluant

$$F = \frac{\text{concentration dans l'unité de poids de l'organisme}}{\text{concentration dans la même unité de poids d'eau}}$$

sont élevés. Ils s'échelonnent entre 3,000 et 4,500 pour les palourdes et entre 3,000 et 12,000 pour les coques. A partir des données, nous avons calculé les équations suivantes de régression linéaire par la méthode de "moindre carré", pour les palourdes excluant les données concernant le groupe qui n'a pas accumulé le polluant :

$$Y = 20,606\ X - 0,836$$

Où Y est la concentration en Pb (µg/individu) et X est la moyenne de poids humide en grammes. Le coefficient de corrélation (r) est 0,99. Et $Y = 0,0636\ X + 19,900$ où Y est la concentration en PP (µg/g de poids humide) et X a la même signification que ci-dessus. (r) est 0,05.

Les équations de régression linéaire pour les coques sont respectivement :

$$Y = 1.402,142\ X - 596,500 \quad (r) = 0,95$$
$$\text{et } Y = 235,126\ X - 92,616 \quad (r) = 0,91$$

Les résultats ont été représentés dans les figures ci-dessous (fig. 1 à 4), et pour l'expérimentation dans un milieu renouvelé dans les figures 5 et 6. Les facteurs de concentration dans cette expérimentation s'échelonnent entre 0,935 et 1,150 pour les palourdes et entre 0,680 et 2,700 pour les coques.

Il est à noter que la concentration de nitrate de plomb utilisée (8 mg/l) a été bien supportée par tous les animaux durant toute la période de l'expérimentation. Les animaux ont eu une activité normale et aucun cas de mortalité n'a été constaté

## DISCUSSION

Les mollusques représentent une source alimentaire directe pour l'homme. Leur contamination pourrait constituer un grave problème pour la santé publique. Les données indiquent que le plomb est retenu et concentré par les palourdes et les coques à des taux de 15 à 23 et 18,5 à 66,5 µg/g de poids humide respectivement dans le milieu confiné et de 4,6 à 5,7 et 3,4 à 13,5 µg/g respectivement dans le milieu renouvelé. Cela confirme les risques sanitaires pour l'homme ainsi que les caractéristiques de ces bivalves en tant qu'indicateur de pollution marine.

Par ailleurs, les résultats indiquent qu'il y a un rapport linéaire entre la taille et la quantité du plomb accumulé dans les tissus frais. Les teneurs totales des organismes augmentent avec la taille si bien que les concentrations varient peu. La concentration du polluant dans l'unité de poids chez les palourdes est relativement constante indépendamment de la taille. Cela indique qu'il y a, chez cette espèce, une efficacité constante de rétention du plomb.

Cependant cette concentration diminue avec la taille chez les coques, ce qui indique que l'efficacité de rétention est plus élevée chez les animaux de petite taille que chez les animaux de grande taille

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


AUBERT M. et al, 1971. — Utilisation d'une chaîne trophodynamique de type pélagique pour l'étude des transferts des pollutions métalliques. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 28, 27-52.

AUBERT M. et al., 1974. — Utilisation d'une chaîne trophodynamique de type néritique à mollusques pour l'étude des transferts des polluants métalliques *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 33, 7-29.

AUBERT M. et al., 1975. — Utilisation d'une chaîne trophodynamique de type benthique pour l'étude des transferts des polluants métalliques. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 39, 117-162.

BROOKS R.R. and RUMSBY M.G., 1965. — The biogeochemistry of trace element uptake by some New Zealand bivalves. *Limol Oceanogr.* 10, 521-527

BRYAN G.W., 1971. — The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proc. Roy. Soc. London, B.*, 177, 389-410.

FAO Fisheries Technical Paper no 137 (1975). — Manual of methods in aquatic environment research. Part. 1. Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution

MAJORI L. and PETRONIO F., 1973. — Marine pollution by metals and their accumulation by biological indicators (accumulation factor). *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 31-32, 55-90

PEDEN J.D. and al., 1973. — Heavy metals in Somerset marine organisms. *Marine Poll. Bull.*, 4, 1 7-9.

PRINGLE B.H and al., 1968. — Trace metal accumulation by estuarine molluscs. *J. Sanitary Engineering Division*, 94, 455-475.

ROMERIL M.G., 1975. — Trace metals in sediments and bivalve molluscs in Southampton water and the Solent. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 39, 31-48.

UNLU M.Y., HEYRAND M., KECKES S., 1972. — Mercury as hydrospheric pollutant : I. Accumulation and excretion of $^{203}HgCl_2$ in *Tapes decussatus* L. in : *Marine Pollution and Sea Life, Roma*, FAO, 292-295.


## Remerciements


Ce travail a été soutenu par une subvention de l'accord culturel entre la France et la Syrie. J'exprime mes vifs remerciements à MM. les Professeurs R. Amar et N. Vicente et à leur personnel, Laboratoires de Zoologie Marine et de Biologie Marine, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, Marseille, pour leur assistance

Je tiens à remercier M^me^ M.O. Laï, Laboratoire de Pétrologie, qui a aidé dans l'utilisation du spectrophotomètre d'absorption atomique.

# Effets de la contamination de *Cerastoderma glaucum* Poiret (mollusque bivalve) par un sel de mercure

*par Pierre ESCOUBET et Nardo VICENTE*

Laboratoire de Biologie marine, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme - 13013 Marseille (France), et Fondation scientifique Ricard, Observatoire de la mer Ile des Embiez Le Brusc - 83140 Six-Fours-les-Plages (France)

## RÉSUMÉ

Des lots de *Cerastoderma glaucum* ont été contaminés par des doses croissantes de Chlorure de Mercure

Au bout de six jours, à une concentration de 0,30 mg/l, l'étude histologique montre la présence de grains de mercure métallique dans la branchie, le tégument, le muscle, les cellules digestives et la gonade. C'est surtout au niveau des ovocytes que la contamination est la plus nette, le mercure s'incorporant au vitellus protéique

## SUMMARY

Samples of *Cerastoderma glaucum* are contamined by increasing dosis of Mercuric Chloride. After six days with 0,30 mg/l concentration, an histological study shows mercuric droplets in the gills, tegument, muscles, digestive cells, and gonad. The higher contamination can be seen in ovocytes where the mercure is incorporated in the proteic vitellus

De nombreux travaux ont, ces dernières années, attiré l'attention des scientifiques et du grand public sur la situation de la Méditerranée en ce qui concerne la contamination des eaux par des métaux lourds comme le mercure ou le plomb, par exemple (Perna et coll., 1972, Aubert et coll., 1974, M. Aubert, 1975).

Ces métaux, sous forme de sels, sont éliminés par les effluents industriels dans le milieu marin où ils provoquent des perturbations écologiques pouvant aboutir à la destruction des ressources alimentaires par accumulation dans les divers maillons de chaînes alimentaires marines, et, par là même, à la contamination de l'homme qui consomme les produits de la mer.

A l'heure où des actions d'Aquaculture sont lancées sur le littoral français, il est indispensable de contrôler rigoureusement la pollution sous toutes ses formes, et en particulier celle provoquée par les métaux lourds, notamment dans les zones aménagées pour l'Aquaculture.

Parmi les métaux lourds les plus nocifs qui arrivent dans le milieu marin, le mercure est sans doute le plus dangereux.

Certains métaux peuvent être régulés par les organismes ; il en est ainsi du zinc chez *Carcinus maenas*, (Bryan, 1971), chez *Homarus vulgaris* (Bryan, 1964), où la concentration en zinc semble contrôlée, sauf dans certains organes (hépato-pancréas, branchies, organes excréteurs). Pour d'autres métaux, comme le mercure, il ne semble pas y avoir de mécanisme de regulation. Le mercure s'accumule dans les animaux au niveau des divers organes : système nerveux, muscle, foie, œufs, mais toutefois il peut se produire une régulation chez *Ostrea virginica*.

De nombreuses études sur la teneur en mercure dans les animaux aquatiques ont été réalisées. Les taux moyens dans les poissons du large seraient inférieurs à 0,2 ppm dans le muscle, selon Bonnevie (1969), Westoo et Rydalv (1969-71), Blight (1971). Dans les zones polluées les taux sont nettement supérieurs : de 1 à 5 ppm (Westoo, 1969, Cumont et coll. (1972).

Les travaux de D. Pesando et M. Aubert (1975) sur la contamination des souches bacteriennes par les métaux lourds montre que l'ordre de toxicité est le suivant : Hg > Zn > Cu > Pb > Cr.

Pour les invertebrés marins, la toxicité vis-à-vis des Annelides est la suivante : Cu > Hg > Cr > Zn > Pb.

On constate donc que le mercure est l'un des métaux lourds les plus toxiques, sinon le plus toxique.

Les normes internationales concernant les taux de mercure dans les espèces marines sont de 0,7 mg/kg pour les Thonidés et 0,5 mg/kg pour les autres espèces. Les teneurs en mercure rencontrées chez les espèces de Mollusques pêchées en Méditerranée varient selon la localisation ; les taux moyens par espèce et par zone sont portés dans le tableau ci-après (tableau 1) (d'après M Aubert, 1975).

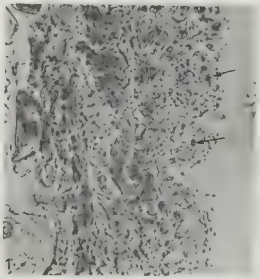
Nos expériences de contamination par le mercure ont porté sur une espèce de Mollusques Bivalve : *Cerastoderma glaucum*, qui est couramment étudiée pour des actions de Conchyliculture expérimentale. C'est une espèce très résistante eurytherme et euryhaline qui se prête bien à ce type d'expérimentation.

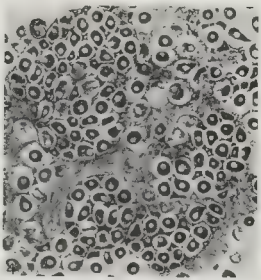
### I. MATERIEL ET METHODES

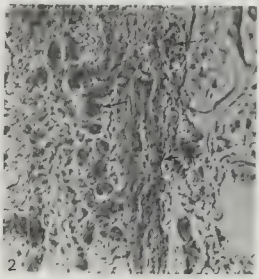
Après une stabulation pendant 18 heures dans une eau de mer filtrée normale, des lots de 17 *Cerastoderma glaucum* ont été placés dans des boîtes en plastique renfermant 2 litres d'eau de mer filtrée sur Millipore à 0,2 µ

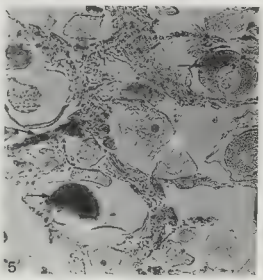
Les coupes histologiques de Cerastoderma glaucum ont été traitées par une solution de chlorure stanneux pendant 24 heures. Le mercure métallique apparaît sous forme de dépôts noirs indiqués par les flèches sur les clichés.

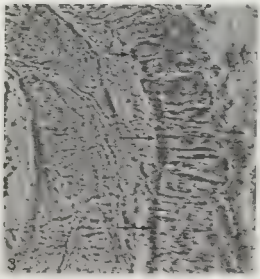
1. — Tégument. Pas de coloration de fond x 200.
2. — Musculature x 200.
3. — Intestin. Le dépôt de Hg métallique apparaît sous la bordure en brosse des cellules intestinales x 450.
4. — Gonade femelle d'un individu non traité, montrant de nombreux ovocytes. Mallory x 50.
5. — Gonade femelle contaminée. Dépôts de mercure dans le cytoplasme des ovocytes. Pas de coloration de fond x 200.
6. — Ovocyte contaminé. Les grains de mercure sont bien visibles dans le cytoplasme. Pas de coloration de fond x 450.

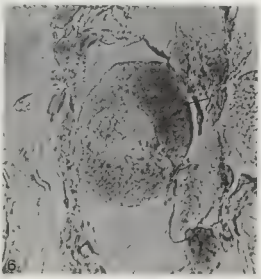


Teneurs en Hg d'espèces pêchées en Méditerranée (Taux moyens par espèces et par zones) d'après M. Aubert (1975)

| Espèces | Zones de prélèvement | Teneur en Hg mg/kg |
|---|---|---|
| Moule | Large de Cagnes | 2,56 |
| Patelle | Large de Rosignano (Côte Toscane) | 2,90 |
| Calmar | Large de Monaco | 0,20 |
| | Large de Cap Delle Mele | 0,05 |
| | Large de Sestri Levante | 0,61 |
| | Large de Livourne | 0,51 |
| | Nord de l'Adriatique | 0,93 |
| Poulpe | Large de Gênes | 0,10 |
| | Large de Livourne | 0,85 |
| | Nord du Cap Corse | 0,10 |
| Seiche | Large de la Spezia | 0,12 |
| | Large de Cecina (Côte Toscane) | 0,34 |
| | Nord du Cap Corse | 1,10 |
| | Nord Adriatique | 0,85 |

Teneurs moyennes en mercure chez quelques mollusques en Méditerranée toutes zones confondues

| Espèces | Nombre d'échantillons | Teneur moyenne, en Hg (mg/kg) |
|---|---|---|
| Poulpe | 18 | 0,28 |
| Seiche | 9 | 0,24 |
| Huître | 10 | 0,19 |

Normes internationales concernant les taux de Hg dans les espèces marines :
0,7 mg/kg pour les Thonidés
0,5 mg/kg pour les autres espèces.

Tableau n° 1

Chacune renferme une solution de mercure ($HgCl_2$) dont la concentration varie de 0,05 mg/l à 0,30 mg/l, selon le tableau ci-après :

| Lots | Concentration | Mole 1 |
|---|---|---|
| T 1 | Témoin eau de mer filtrée | |
| T 2 | Témoin eau de mer filtrée | |
| 1 | 0,05 mg/l | 0,15 mole/1 |
| 2 | 0,10 mg/l | 0,31 mole/1 |
| 3 | 0,15 mg/l | 0,46 mole/1 |
| 4 | 0,20 mg/l | 0,62 mole/1 |
| 5 | 0,30 mg/l | 0,93 mole/1 |

**Ces concentrations ont été choisies en fonction des expériences de M. AUBERT et collaborateurs qui, sur une période de 9 jours observent un seuil de toxicité de 0,68 mg/l.**

**Nous sommes restés volontairement en deçà du seuil de toxicité pour ménager l'intégrité des fonctions biologiques des animaux.**

Ces bivalves ont été maintenus en l'absence totale de nourriture pendant toute la durée de l'expérience.

Des prélèvements au bout de 24 heures, 3 jours et 6 jours ont permis d'utiliser les animaux pour des études histologiques et ultrastructurales, d'une part, et à des fins d'analyses, d'autre part ; analyse de glycogène et analyse de mercure par spectrométrie d'absorption atomique.

La présente publication concerne l'étude histologique.

Pour sa réalisation, les échantillons ont été fixés au formol salé à 10 %, puis traités dans une solution de *chlorure stanneux* pendant 24 heures. Le chlorure stanneux a pour effet la formation de mercure métallique noir, par action sur les sels minéraux.

Les coupes examinées sans coloration ou après une coloration de fond à l'éosine vert lumière montrent dans certains tissus de nombreux granules noirs qui sont constitués par le mercure métallique.

Les Protéines "sidérophiles" sont mises en évidence par la méthode de Hartig-Zacharias, et les groupements — SH des protéines soufrees par celle de Chèvremont et Frédéricq.

## II. RESULTATS

Les concentrations de chlorure de mercure utilisées ont été bien supportées par tous les animaux pendant la durée de l'expérience. Aucun cas de mortalité n'a été constaté. Les Bivalves ont eu un comportement normal avec leurs siphons toujours bien en extension. La seule réaction anormale a été constatée en début d'expérience pour la concentration la plus forte (0,30 mg), ou après avoir sorti leur pied, les individus l'ont rétracté brutalement au bout de 2 minutes Mais par la suite, le comportement est redevenu normal.

Ce sont les animaux en expérimentation depuis six jours qui ont fait l'objet de l'étude histologique :

— un lot témoin non soumis à l'action du Chlorure de mercure.
– un lot traité à 0,30 mg/l de $HgCl_2$

Les observations ont porté sur la branchie, les cellules tégumentaires, les cellules stomacales et intestinales et la gonade.

— Le lot témoin ne montre aucun granule dans les divers tissus étudiés.

— A la concentration de 0,30 mg/l, les cellules tégumentaires renferment de nombreux granules bruns dans la région proximale et il en est de même dans les cellules musculaires sous-jacentes (fig. 1 et 2) et le filtre brachial

Les cellules stomacales et intestinales renferment les mêmes granules sur la bordure en brosse, disposés en une ligne régulière (fig 3).

Mais la localisation la plus remarquable se situe dans la gonade. Tous les ovocytes mûrs sont contamines. Les granules tres denses se rencontrent dans le cytoplasme des ovocytes uniquement, le noyau n'étant pas affecté

Les ovocytes jeunes renferment également quelques granules, mais d'une densité moins importante.

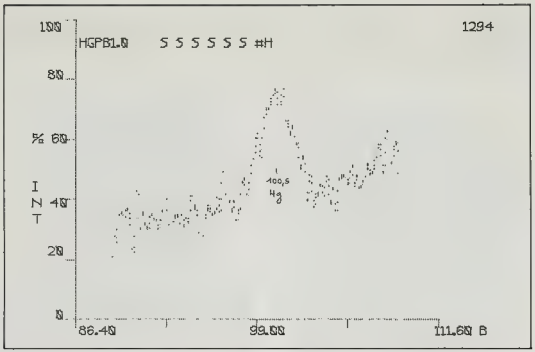
Le mercure se fixant généralement sur les protéines, la réaction de Hartig Zacharias met en évidence la présence de protéines "sidérophiles" constituées par un complexe de fer et de protéines. C'est une méthode signalétique qui montre l'existence de protéines dans les sites occupes par les granules de mercure, et notamment dans le cytoplasme des ovocytes en vitellogenèse.

Par ailleurs, les sels mercuriques forment des mercaptides avec les groupements sulfhydriles des protéines soufrees selon la réaction suivante :

$$R — SH + HgCl_2 \rightarrow R — SHg — Cl + HCl$$

Les groupements — SH mis en évidence par la méthode de Chèvremont et Frédéricq se localisent aux mêmes endroits que le mercure décelé dans les divers tissus examinés. Ceux-ci sont colorés en bleu intense (Bleu de Prusse), par réduction du ferricyanure ferrique en ferrocyanure ferrique par les groupements sulfhydriles

L'analyse au spectromètre de photoélectrons d'un individu soumis à une concentration de 0,15 mg/l pendant six jours montre la présence d'un pic caractéristique du mercure (graphe)




Les dommages physiologiques causés par de basses concentrations de mercure (0,2 mM) ont été constatés chez d'autres Bivalves. Ainsi chez les Huîtres, les dégâts ont lieu au niveau de la membrane cellulaire qui voit sa semi-perméabilité affectée par perte de ses ions $K^+$.

Pour une concentration légèrement supérieure (0,6 mM), la cassure cellulaire est maximale. Le mercure se lie très rapidement en particulier aux protéines soufrées, le mécanisme envisagé est la formation de ponts S — Hg — S dans les positions stériques spécifiques (Passow et Rothstein, 1960).

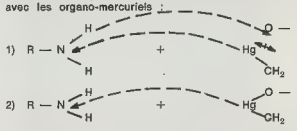
Les organomercuriels étant actifs sous la forme de R — $Hg^+$ (Goodman et Gilman, 1955), mais peut être aussi sous la forme R — Hg — R' seraient des complexes attirés par la Cystéine (Weiner et Muller, 1955).

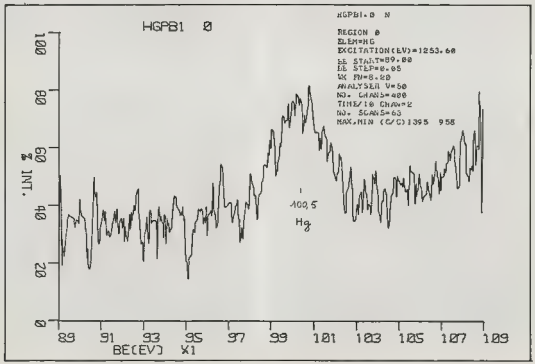
Hugues (1947) a découvert la fixation mercurique avec l'albumine et a montré que ce composé mercuriel peut être utilisé pour le dosage de l'albumine ainsi que pour déterminer le nombre de groupements — SH de ces protéines

Pour Hulmann (1964), le mercure a une préférence spécifique pour les groupements donneurs d'ions $S^=$, mais il peut aussi former des complexes avec l'azote.

Il peut, par exemple, donner des liaisons fortes avec l'azote des groupes — NH — des protéines.

Cette liaison peut se faire des deux façons suivantes avec les organo-mercuriels :



1) Fixation des organo-mercuriels sur des groupements aminés d'une protéine.

2) Formation d'un ammonium quaternaire

On connaît mal encore, à l'heure actuelle, la fixation des composés mercuriels sur les acides aminés porteurs de groupements aminés disponibles au sein d'une protéine.

C'est le cas par exemple de la Lysine, l'Arginine ou l'Histidine. Il faut tenir compte du fait que les constantes de dissociation des acides aminés au sein de la protéine sont modifiées par rapport à celles des acides aminés isolés. Enfin, l'absorption de mercure semble inhiber les processus métaboliques vitaux ou affecter la capacité d'échange des surfaces internes ou externes d'un animal (Malacea, 1966)

En supposant qu'une telle contamination ait lieu en milieu naturel — ce qui est probable si l'on en croit les concentrations en Hg rencontrées dans les produits de la pêche — l'homme qui se trouve en fin de chaîne alimentaire consommera ces coquillages contaminés, et l'on connaît les conséquences pathologiques désastreuses pour l'homme, d'une telle contamination par le mercure.

Ce type d'expériences de contamination par les métaux lourds Hg et Pb en particulier est actuellement poursuivi depuis l'œuf jusqu'à l'adulte dans le cadre d'une étude de conchyliculture expérimentale

Elle permettra de suivre les phénomènes de concentration dans l'organisme d'une génération à l'autre et d'étudier, au niveau physiologique, histologique et ultrastructural, les perturbations éventuelles

## III. DISCUSSION

Chez les invertébrés marins, les teneurs normales en métaux lourds sont toujours beaucoup plus élevées que celles de l'eau. On constate que chez les Mollusques les oligo-éléments sont nécessaires au métabolisme et les teneurs totales des organismes augmentent avec la taille et l'âge, et de ce fait les concentrations varient peu, sauf exceptions. Les valeurs rencontrées dans les travaux scientifiques portent en général sur les éléments les plus importants du point de vue physiologique : Cu, Zn, Ni, Co. Par contre, il existe peu de données concernant le mercure, le cadmium ou le plomb qui sont des oligo-éléments dont la fonction biochimique est peu connue

Les teneurs normales de ces éléments dans l'eau de mer sont les suivantes .

Hg = 0,03 ppb (Goldberg E., 1961).
Pb = 0,03 »
Cd = 0,1 »
Co = 0,4 »
Cu = 3 »
Ni = 7 »
Zn = 10 »

Dans les organismes ces teneurs sont plus importantes. Ainsi le cuivre se rencontre en grande quantité chez les Mollusques ; chez les Moules et les Huîtres sa teneur varie de 1 à 100 ppm pour le poids frais

Dans le muscle des Cephalopodes, les teneurs rencontrées couramment sont de l'ordre de quelques ppm pour la matière sèche.

Le Zn est également rencontré à de fortes concentrations chez les Lamellibranches comme l'Huître : 20 à 100 ppm et plus dans l'organisme frais. Et pour le Co et le Ni les teneurs sont 10 à 20 fois inférieures à celles du Zn. Pour le mercure, nous avons vu (tableau) que les teneurs dans les Mollusques pêchés en Méditerranée varient de 0,10 à 2,90 ppm, ce qui est tout de même considérable si l'on songe que les taux admis dans les organismes sont de 0,01 ppm pour le phytoplancton, 0,01 ppm pour le zooplancton et 0,04 pour un poisson comme l'anchois

Il est flagrant qu'une contamination par un sel de mercure à une concentration très en deçà du seuil de toxicité ne perturbe pas les activités biologiques des Mollusques Bivalves qui conservent un comportement normal, même en absence de nourriture, continuant à filtrer l'eau de mer dans laquelle ils se trouvent. Cette filtration a pour effet d'accumuler dans l'organisme l'élément toxique présent dans le milieu, en l'occurrence le chlorure de mercure. Le mercure est concentré dans les tissus sous forme de ions $Hg^{2+}$ qui s'associent en général aux protéines ; en effet, le mercure fournit de très nombreux composés organiques.

Dans le cas de notre expérience, au bout de six jours, l'élément mercure est stocké dans les téguments, le muscle et les cellules digestives, ce qui apparaît comme une localisation évidente, mais ce qui est plus grave est de constater son accumulation dans la gonade au niveau des ovocytes en cours de vitellogenèse. L'ion $Hg^{2+}$ doit s'intégrer à la fraction protéique du vitellus. Ce vitellus servant de nourriture au futur embryon, il est aisé de comprendre que le mercure va se concentrer à nouveau dans l'organisme du jeune individu et avoir ainsi des répercussions sur les générations à venir

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


AUBERT M., 1975. — Problème du mercure en Méditerranée. *Rev Intern Océanogr. Méd.*, T XXXVII - XXVIII, p. 215-231.

AUBERT M., LAUMOND F., BARELLI M., ROMEO M., BREITTMAYER J.Pn, PUEL D., FLATEAU G., 1974. — Rapport des études sur la pollution des eaux de mer. Travaux de contrôle sanitaire de l'I.N.S.E.R.M. (à paraître)

BONNEVIE P. et al., 1969 — Mercuric investigation on Danish eggs, pigs liver and fish. *Fra Sundhedsstyrelsen* 8, p. 81-92

BLIGHT E.G., 1971. — Mercury levels in Canadian fish. Proceeding of Symposium "Mercury in man's environnement", Feb. 15-16, Ottawa, Canada, p. 73-90

BRYAN G.W., 1964. — Zinc regulation in the lobster, *Homarus vulgaris* I. Tissue zinc and copper concentrations. *J. Mar. Biol Ass. U.K.* 44, p. 549-563

BRYAN G.W., 1971. — The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organismes. *Proc. Roy. Soc. Lond.*, 117, p. 389-410.

CUMONT G. et coll., 1972. — Contamination des poissons de mer par le mercure. *Rev Intern Océanogr. Méd.*, T. XXVIII, p. 95-127

GOLDBERG E.D., 1962. — Elemental composition of some pelagic fishes *Limnol. Océanogr., 7*, suppl., p. 72-75.

GOODMAN L. and GILMAN A., 1955. — The pharmacological basis of therapeutic. 2nd ed. New York Macmillon.

HUGJES W.L., 1947. — An albumine fraction isolated from human plasma as a crystalline mercure salt. *J. Am Chem. Soc.*, 69, p. 1636-1637.

MALACEA I., 1966. — Contributions to knowledge on the toxic effect of cyanides, ammonia mercury and arsenic on some species of fish and Daphnia. *Studii Prot Epur Apel. Buc.*, 7, p. 751-92

PASSOW H. and ROTHSTEIN A., 1960 — The binding of mercury by the yeast cell in relation to changes in permeability. *J. Gen. Physiol.*, 43, 621-33

PERNA A. et coll., 1972. — La présenza di mercurio totale nella carne dei pesci e di altri prodotti della pesca del mare Adriatico. Estratto da *"Il progresso Veterinario"*, p. 14

PESANDO D. et AUBERT M., 1975. — Effets des pollutions chimiques vis-à-vis des télémédiateurs intervenant dans l'écologie microbiologique et planctonique en milieu marin. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, T. XXXIX - XXXX, p. 109-116.

SHULMAN A., 1954 — Metal chelates in biological systems in DWYER P.P., MELLOR D.P., Chelating agents and metal Chelates. Acad. Press., N.Y., London, p. 383-435.

WEINER I.M. and MULLER O.H., 1955. — Polarographic studies of mersalyl thiol of mersalyl. *J. Pharmac. exp. ther.*, 113, p. 241.

WESTOO G., 1969. — Mercury and methyl mercury levels in some animal products. Aug. 1967 - Oct 1969 *Vär Föda*, 7, p. 137-154.

WESTOO G. and RYDALV M., 1969. — *Mercury* and methyl mercury in fish and crayfish, Nov. 1967. Febr. 1969. *Vär Föda*, 3, p. 109-111.

WESTOO G. and RYDALV M., 1971. — Methyl mercury levels in fish. Methyl mercury levels in fish caught. March 1968, April 1971 *Vär Föda*, 7-8, p. 171-321

# La pathologie humaine par les mollusques

*par Alain BOMBARD*

Laboratoire de Biologie marine, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme - 13013 Marseille (France), et Fondation scientifique Ricard, Observatoire de la mer, Ile des Embiez, Le Brusc - 83140 Six-Fours-les-Plages (France).

## RÉSUMÉ

L'ingestion de coquillages par les hommes a toujours présenté des risques de contamination. Cette contamination d'origine bactérienne était évitée par des normes de sécurité sur les lieux de pêche et par la cuisson.

La pollution massive par les bactéries, due au développement des cités, n'a pas été accompagnée d'aggravation des mesures de sécurité, d'où une menace plus grande d'infection bactérienne

Les métaux lourds et les pesticides ont rajouté une pathologie nouvelle, très grave, dont les effets cumulatifs inévitables ne peuvent être palliés par la cuisson et risquent de rendre les coquillages dangereux à la consommation.

## SUMMARY

The ingestion of shell by men has always presented risks of contamination. This contamination which has a bacterial origin was avoided by certain norms of security on the spot of fishiry and thanks to cooking.

The heavy pollution by bacteria (singulier : bacterium) due to the growth (or spreading out) of the cities, has not been followed by — more serious security measures which has generated a more important bacterial infection.

Heavy metals and pesticides have added a new pathology, very serious, which cumulative and unavoidable effects, can't be palliated by cooking and could make shells dangerous to the consumption

## I. - INTRODUCTION

De tout temps les plus grandes précautions ont été recommandées pour l'ingestion des coquillages. Les accidents d'origine alimentaire étaient de plusieurs ordres .

a) les allergies,
b) les intoxications aigues.
c) les intoxications chroniques

Depuis peu, de nouveaux troubles pathologiques sont venus s'ajouter aux précédents

Ils sont dus à la modification profonde de la qualité des coquillages qui résulte :

a) du développement des rejets d'égouts
b) à la présence de produits toxiques dont les métaux lourds et pesticides
c) de la contention bactérienne et à sa concentration par les coquillages.

## II. - LA PATHOLOGIE CLASSIQUE

### A. Les allergies.

Les allergies (intolérance personnelle à une substance, inoffensive pour d'autres) sont particulièrement fréquentes lors de l'absorption de coquillages. Bénignes pour la plupart (eczéma, urticaire), elles peuvent prendre des caractères dramatiques (œdèmes de Quinck, par exemple) et parfois mortels.

### B. Les intoxications aiguës.

Elles sont dues :

a) à la qualité du coquillage sur les lieux de capture ou d'élevage,
b) à la proximité de rejets toxiques ou bactériens,
c) à la distance de transport et à la saison (d'où la classique interdiction lors des mois d'été : les mois sans R).

**Les intoxications aiguës** peuvent être parfois fort graves parfois mortelles.

Les symptômes sont très variés : une gastro-entérite aiguë avec vomissements et diarrhée est la règle avec parfois des symptômes nerveux et de collapsus. L'Adynamie résultante peut persister longtemps pendant la convalescence. Cette gastro-entérite aboutit parfois à des symptômes cholériformes (algidité, rampse, oligurie) et peut donner un subictère et de la xanthopsie.

Plus rare est une dothiénentérie : fièvre continue, tuméfaction de la rate, diarrhée, vomissements, taches rosées. Le diagnostic est difficile à faire avec la thyphoïde. Mais l'évolution est plus rapide et plus dynamique

Le traitement est essentiellement une diète et une lutte par perfusion contre la déshydratation

### C. Les intoxications chroniques.

Nous les citons pour mémoire, car pratiquement toutes précédées d'une intoxication aiguë, elles engendrent une véritable allergie et de ce fait se trouvent décrites à ce chapitre

Néanmoins, soulignons l'extrême sensibilité de ces intoxiqués chroniques dont une brusque poussée fébrile peut révéler la présence dans un mets d'un coquillage qui aurait pu passer inaperçu.

## III. - LA PATHOLOGIE NOUVELLE

Il fallait rappeler la pathologie classique due à l'ingestion de coquillages pour en arriver à toute une pathologie moderne qui correspond à une modification profonde et parfois dramatique de la qualité des coquillages consommés. A la limite, cette pathologie pourrait risquer d'interdire la consommation, crue sûrement, cuite de plus en plus fréquemment, de certains coquillages.

Auparavant, en fait, les seules intoxications alimentaires aiguës graves étaient le fait de coquillages consommés

crus. Maintenant, la cuisson ne suffit plus à écarter le danger.

## I. - LES CAUSES

### A. Lieux de capture ou de cueillette (élevage).

Des normes sévères avaient été données par les services d'hygiène pour éviter dans les élevages ou sur les lieux de capture la proximité d'un rejet d'égout.

La dispersion des bacteries et l'auto-épuration par les eaux vivantes, associées à la décantation, préalable à la vente, dans de l'eau propre et contrôlée, suffisait à écarter tout risque d'origine bactérienne.

On n'était pas encore à l'époque où se trouvent confondus dans l'égout, donc dans la rivière, donc dans l'estuaire, produits chimiques toxiques et produits organiques mêlés à des micro-organismes bactériens ne subissant plus d'épuration.

Il était tentant de continuer les exploitations sur les lieux d'origine Mais ces lieux ne sont plus sains. Bactéries en masse et métaux lourds y ont fait leur apparition.

l'augmentation du taux bactérien. Il n'en est rien, hélas ! et il faut avoir le courage de reconnaître que les cas d'infection aigué grave dus à l'absorption de coquillages crus sont de plus en plus fréquents

Dès à présent, la consommation crue de moules en provenance de la Méditerranee est à déconseiller.

### B. Les poisons industriels : métaux lourds et pesticides.

Parmi les métaux lourds qui se trouvent concentrés dans les coquillages citons essentiellement le mercure et le plomb

a) *l'hydrargyrisme*

C'est l'intoxication par le mercure, et l'on sait l'augmentation du taux de mercure dans les coquillages (cf. ce volume).

Les principaux signes de cette intoxication sont :

— la stomatite mercurielle avec chute spontanée des dents.
— la fièvre,
— l'agitation,

Découvertes pathologiques chez les êtres humains (d'après Takeuchi)

| | Principa es découvertes | Maladie de Minamata | Mercure organique | Mercure inorganique | Thallium | Manganese |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Système nerveux | Destruction des cellules nerveuses | | | | | |
| | Cellules granulaires du cervelet | III | III | — | — | — |
| | Cellules de l'aire calcarine | III | III | — | — | — |
| | Hémisphère cérébral | II | II | — | — | — |
| | Diencéphale | + | + | + | — | III |
| | Ramollissement | ± | ± | ± | ± | ± |
| | Lésions des nerfs périphériques | ± | ± | II | III | |
| | Hemorragies et œdèmes (aigus) | III | + | II | II | II |
| Organes généraux | Dégénérescence et nécrose des cellules hépatiques | | (+) | II | + | II |
| | Dégénérescence des cellules épithéliales rénales | (+) | (+) | III | II | ± |
| | Hypoplasie de la moelle osseuse | + | | + | — | — |
| | Entérite | + | + | III | II | — |

(in Minamata Disease, Edit. Sanichi Shobo)

### B. Proximité de rejets toxiques et bactériens.

Tel élevage, à la proximité d'une petite cité, est demeuré quand la cité est devenue ville, et l'égout industriel d'où la présence simultanée de bactéries en quantité et de rejets de produits toxiques.

### C. Transports et saisons.

Ces deux facteurs sont permanents, mais la demande ayant augmenté, les risques sont plus grands, les normes de sécurité ne s'étant pas adaptées et ne présentant pas une plus grande sécurité pourtant nécessaire.

## II. - LES EFFETS

### A Accidents d'origine bactérienne.

Les coquillages (huîtres, moules) sont des filtres à bactéries (100 litres d'eau environ filtrés par une huître en 24 heures) (Brisou - 1974). Comme nous l'avons dit, il suffisait quand les normes de sécurité étaient conformes à l'attente bactérienne du milieu, de décanter les coquillages dans une eau propre. Encore faudrait-il que le temps de présence dans cette eau et la fréquence de son renouvellement se soient accrus en proportion de

— le tremblement mercuriel qui ressemble à celui de la sclérose en plaques et qui est d'origine cérébelleuse

Des contractures et, à la limite, des paralysies par névrite.

Prolongée, cette intoxication aboutit à la cachexie mercurielle irréversible

Actuellement, aucun cas d'intoxication mercurielle aiguë n'a été signalé en Europe, mais c'est inéluctable dans l'avenir

Rappelons la maladie de Minamata (Japon) avec paralysie, tremblements, gastro-entérite avec diarrhée sanglante, aboutissant souvent à la mort (Takeuchi, 1969 - cf. tableau)

En septembre 1976, le Père Ambroise Lafortune m'a informé de l'apparition de la maladie de Minamata chez les Indiens Cree de la baie d'Hudson, à la suite de l'installation d'une usine américaine rejetant à la mer du Methyl Mercure

Le saturnisme semblait en voie de disparition chez l'homme depuis l'automation de l'imprimerie. Il reparaît

par ingestion de plomb d'origine aquatique. Signalons les travaux de Hovasse sur la mort par saturnisme des canards de Camargue.

Il provoque chez l'homme la décoloration des téguments, l'altération du pouls, l'anémie avec granulations basophiles Liséré gingival saturnin gris bleuâtre (de Burton), des troubles nerveux enfin

— Paralysie deltoïde.

— Encéphalopathie saturnine.

Telle est la pathologie que développe le plomb dans les coquillages, cette symptomatologie étant très voisine de celle du Titane contenu dans certaines boues rouges (Montedison).

Enfin, la cuisson n'est d'aucun effet pour supprimer ou diminuer ces troubles et l'effet cumulatif des métaux lourds pèse sur l'avenir des coquillages dans l'alimentation humaine

Parmi les pesticides, mentionnons les organo-chlorés comme le lindane, le DDT, le PCB, qui eux aussi infestent les produits d'origine marine

## IV. - CONCLUSIONS

On voit que s'il a toujours existé un risque à l'absorption de coquillages, ces risques étaient limités par des règles bien adaptées, et en tout cas pratiquement éliminés par la cuisson

Il n'en est, hélas ! plus de même actuellement pour les intoxications bactériennes. Les règles n'ont pas évolué et sont devenues insuffisantes La cuisson reste un palliatif efficace.

Mais il y a maintenant une pollution chimique aggravante, cumulative, indestructible qui n'est pas diminuée par un procédé culinaire.

C'est d'une immense gravité, car ce qui est vrai pour les coquillages l'est encore plus gravement pour tous les maillons des chaînes alimentaires marines en général plus longues que celles qui conduisent aux mollusques.

Au moment où l'homme entrevoit la mer comme son dernier recours contre la famine par l'aquaculture et la mariculture, il détruit sa propre nourrice en l'empoisonnant.

C'est au biologiste, au pathologiste, et en général à ceux qui veulent sauver la vie, de s'opposer par tous les moyens à cette civilisation industrielle tant qu'elle apporte la mort pour l'avenir sous les couleurs du bonheur pour le présent.

## BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE


— BRISOU J. - 1974. — « Infection et intoxication transmises par les coquillages ». *Ouest Médical*, 14 p

— COLLET P. - 1972. — « Les intoxications alimentaires ». Ed. Maloine, Paris

— HAMBURGER J. - 1950 — « Petite encyclopédie médicale » Ed. Flammarion, Paris, P. 1, 948

— HOVETTE C. - 1973 — « Le Saturnisme des Anatidés de la Camargue ». Thèse d'Université Aix-Marseille I, Université de Provence, P. 1, 151

— TAKEUCHI J. - 1969. — « Minamata disease and water pollution y industrial waste ». *Rev. Intern. Oceanogr. Med* - t. XIII, XIV, p. 37 - 44

# Utilisation du kimographe pour l'étude des effets de la pollution sur les coquillages

*par E. PASCUAL*

Instituto de Investigaciones pesqueras, Cadix (Espagne).

## RÉSUMÉ

On décrit une méthode pour étudier l'effet des substances toxiques sur les huîtres par l'enregistrement de l'activité valvaire avec une kimographe.

Les résultats obtenus avec les huîtres soumises aux substances toxiques nous ont permis d'établir deux valeurs pour la mesure de leur effet : la concentration la plus faible provoquant des altérations dans l'activité valvaire, et la concentration pour laquelle l'huître ferme ses valves.

Nous signalons aussi la possibilité d'utiliser l'enregistrement de l'activité valvaire pour déceler la présence de polluants dans le milieu naturel.

## SUMMARY

A method is described to study the effects of contaminating substances, toxicity being measured from the record of shell movements obtained with a kimograph.

The observed oyster responses, when exposed to a contaminating substance, allows a determination of toxicity by means of two significant values: the lowest concentration producing disturbances in the normal pattern of shell movements and that which causes total closure.

It is suggested the possibility of appliyng the record of shell movements for the detection of poltution in the natural environment

Dans la plupart des expériences conduites pour évaluer l'effet des polluants sur les organismes marins, les sujets sont placés dans des concentrations extrêmes de contaminants et les résultats sont exprimés par le temps où la concentration provoque des mortalités définies

Ces expériences ont soumis les exemplaires à des conditions extrêmes, et, de ce fait, l'information obtenue est très limitée et rapportée seulement à la survie.

Cette information, toute seule, ne permet pas d'évaluer la concentration d'une substance qu'on peut considérer non toxique pour les organismes testés.

Dans un laboratoire côtier, il est aussi important d'évaluer l'effet des pollutions que de déceler leur existence. Les essais de toxicité aigué ne permettent pas de déduire l'absence de toute toxicité pour une pollution donnée, bien que quelques auteurs aient émis l'hypothèse que le dixième de la tolérance limite moyenne pouvait être considéré comme une concentration inoffensive.

En ce qui concerne les coquillages, une meilleure information peut être obtenue par l'étude des altérations de l'activité normale des organismes. Cette activité, chez les bivalves, a été étudiée fondamentalement par la mesure de la filtration, la consommation d'oxygène et l'enregistrement des mouvements cardiaques et valvaires

Les deux premières mesures ont nécessité des techniques assez compliquées et il est difficile d'éviter l'introduction de perturbations dans l'activité normale des animaux.

L'enregistrement des activités cardiaques et valvaires est beaucoup plus simple. L'introduction par Trueman (1967) d'une technique pour l'enregistrement de l'activité cardiaque chez les bivalves a multiplié le nombre des travaux dans ce domaine

A notre avis, la méthode la plus simple et la plus rapide pour connaître les altérations de l'activité chez les bivalves, c'est l'enregistrement des mouvements valvaires. Ceux-ci sont facilement enregistrés avec le kimographe. Cette méthode est appropriée pour les huîtres et les moules, totalement sédentaires, puisque pour l'enregistrement on doit maintenir fixé le sujet par une valve

Galtsoff (1964) a decrit les types de mouvements valvaires observés chez l'huître américaine *Crassostrea virginica* et His (1970) a observé le même comportement chez *C. angulata*.

Galtsoff a établi 5 types de mouvements des valves, le cinquième correspondant à celui de la ponte ne sera pas considéré ici. Les quatre autres types de mouvements sont observés dans les huîtres sous l'effet des substances toxiques

Nous avons essayé depuis quelques annees d'utiliser l'activité valvaire des huîtres pour mesurer la toxicité de diverses substances (surtout des metaux lourds) et nous avons établi une relation entre les types de mouvements valvaires et la toxicité

L'activité normale de l'huître, correspondant au type A de Galtsoff, est représentée graphiquement par une ligne droite avec quelques altérations produites par des battements valvaires peu fréquents. Pour chaque substance on peut définir une concentration pour laquelle il n'y a pas d'altérations dans l'activité normale, c'est le seuil de sensibilité. Au-dessus de cette concentration, l'huître répond avec des battements valvaires dont l'amplitude et la fréquence augmentent avec la concentration. Ce sont les mouvements correspondant au type B de Galtsoff.

Une deuxième valeur, c'est la "concentration de fermeture totale", c'est-à-dire la concentration pour laquelle les huîtres réagissent par la fermeture des valves pendant tout l'essai. L'occlusion est réalisée parmi des mouvements du type C de Galtsoff. Le type D est variable

et on peut produire en précédant l'occlusion totale ou, bien plus tard, dans des expériences prolongées, quand le muscle adducteur est en train de perdre son pouvoir pour maintenir les valves fermées.

On peut penser aussi à une troisième valeur , le temps de retour à l'activité normale après l'évacuation du polluant. Dans les expériences que nous avons réalisées, le retour à l'activité normale a été toujours immédiat.

Pour obtenir des résultats comparatifs il faut normaliser les essais. Après beaucoup d'expériences, nous avons choisi les conditions de travail ci-après :

Un circuit ouvert avec un débit d'eau de mer de 130-140 ml/min. Température 16-18ºC. Vitesse du papier 1,3 mm/min. Temps d'enregistrement : une heure à l'eau de mer normale, une heure à la solution essayée et une heure à l'eau de mer normale à nouveau.

Chaque sujet est utilisé pour un essai seulement, afin d'éviter les effets cumulatifs. Néanmoins, avant de commencer les expériences avec une substance, nous déterminons à peu près la concentration du seuil de sensibilité au sein d'un exemplaire qui est soumis à des doses progressivement croissantes, jusqu'à l'obtention d'une modification dans l'enregistrement

Il faut signaler que la variabilité individuelle est très importante. Dans les essais réalisés (Establier et Pascual, 1974, Pascual et Establier, 1975), nous avons exprimé les résultats sous la forme d'un intervalle de concentrations dans lequel se produit la réponse pour 90 % des exemplaires. Néanmoins, pour la normalisation de la méthode, on doit déterminer, de même que pour les tests de survie, le seuil de sensibilité et la concentration de fermeture totale pour 50 % des sujets.

Indépendamment de l'usage décrit, c'est-à-dire la détermination des niveaux de toxicité des substances, on peut utiliser aussi l'enregistrement kimographique pour déceler les pollutions dans le milieu naturel. A ce propos, l'installation décrite par His (1972) pour étudier le déclenchement de la ponte est très adéquat.

On peut penser enfin à l'utilité de maintenir un enregistrement systématique de l'activité des huîtres à l'entrée de l'eau de mer dans les laboratoires de culture, ce qui permettrait de déceler rapidement des altérations de la qualité de l'eau de mer utilisée

## BIBLIOGRAPHIE


ESTABLIER R., PASCUAL E., 1974. — Estudios del cobre, hierro, manganeso y cinc en ostiones (*Crassostrea angulata*) del golfo de Cádiz. *Inv. Pesq.* 38 (2) : 371-384.

GALTSOFF P.S., 1964. — The American Oyster, *Crassostrea virginica Gmelin*. *Fishery Bull.* 64 , 1-480.

HIS E., 1970. — Comportement de *Crassostrea angulata* Lamarck sous des conditions d'asphyxie. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.* 34 (2) , 65-70.

HIS E., 1972. — Ostréographie sur parc. *ICES Shellfish Comm.* K : 24

PASCUAL E., ESTABLIER R. — Variaciones del contenido en cobre, hierro, manganeso y cinc en relación con la maduración sexual del ostión, *Crassostrea angulata* de las costas de Cádiz *Inv. Pesq.* 38 (2) : 387-395

TRUEMAN E.R., 1967. — Activity and heart rate of Bivalve mollusca in their natural habitat. *Nature 214 : 832-833.*

# Teneur en métaux dans certains organismes marins prélevés sur le littoral calaisien

*Olivier ROGUES*

Tioxide S.A. B.P. 89 - 62102 Calais.

## RÉSUMÉ

L'analyse d'une série de métaux dans des moules (*Mytilus edulis*) et des arenicoles (*Arénicola marina*) prélevés sur le littoral calaisien fait partie du contrôle écologique réalisé par Tioxide S.A. afin de déceler une influence possible de l'effluent provenant de la fabrication du bioxide de titane.

Les résultats obtenus démontrent qu'aucune accumulation n'intervient En ce qui concerne les moules, les teneurs obtenues sont tout à fait comparables à celles relevées dans la littérature.

**
*

## SUMMARY

Metal analysis in mussels (*Mytilus edulis*) and seaworms (*Arenicola marina*) sampled in the intertidal zone in front of Calais are part of the ecological survey carried out in order to control the effect of the $TiO_2$ wastes.

The results reveal that the organisms do not show any accumulation and in the case of mussels they compare closely with data available in the litterature.

## I. INTRODUCTION

Tioxide S.A. produit depuis 1967 un pigment blanc pour peintures et plastiques, le bioxyde de titane ($TiO_2$) communément appelé blanc de titane. Le procédé utilisé dit "au sulfate" conduit à l'obtention d'un effluent principalement composé d'acide sulfurique, de sulfate ferreux et, à un degré moindre, de sulfate de titanyle.

L'utilisation d'un minerai enrichi en $TiO_2$ (70-72 % dans le cas du Tioxide contre 45-55 % dans le cas d'un minerai naturel), le stockage à terre après neutralisation des résidus insolubles après l'attaque du minerai par l'acide sulfurique, l'utilisation de filtres et de cuves de décantation ont permis de minimiser de façon importante le flux de pollution.

L'effluent est rejeté par canalisation à une distance de 1 300 mètres à partir de la ligne des dunes par un fond de — 5-5 mètres hydrographique Le pompage est discontinu et se fait à chaque inversion de marée, période à laquelle les courants se renversent pour aller vers le Nord-Est dans la mer du Nord. Cette inversion produit d'importantes turbulences qui favorisent le brassage de l'effluent avec l'eau de mer, donc accélèrent sa neutralisation et sa dilution.

**Localisation des points de prélèvement**

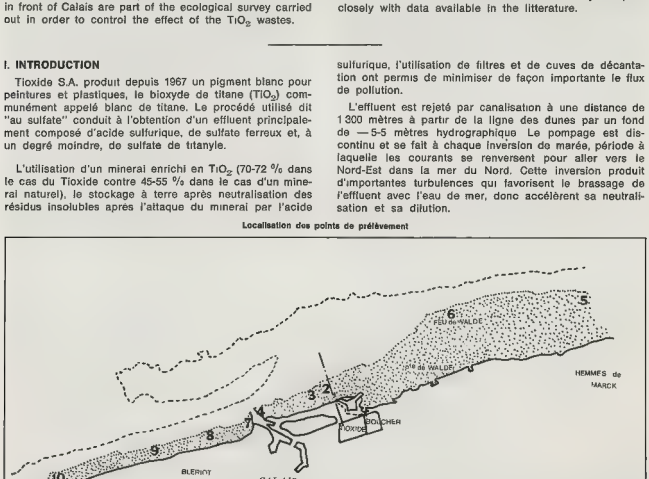


TABLEAU I. Analyse de *Mytilus edulis* prélevés sur le littoral calaisien. Les teneurs sont exprimées en mg / kg par rapport au poids humide.

| Station. | Fe. | Cr. | Cu. | Pb. | V. | Zn. | Cd. | Hg. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 : tuyau Pâtes à papier. | 33. | <1. | 1.7 | 0.8 | <1. | 24. | 0.5 | 0.036 |
| 4 : Jetée Est. | 55. | <1. | 1.5 | 0.8 | <1. | 31. | 0.3 | 0.057 |
| 3 : Jetée Ouest. | 60. | <1. | 1.2 | <1. | <1. | 27. | <1. | 0.066 |
| 5 : Feu de Walde. | 110. | <1. | 1.4 | 1.2 | <1. | 27. | - | - |
| 9 : Plage de Blériot. | 140. | <1. | 3.4 | 2.8 | 2.2 | 35. | - | - |

Malgré ces conditions favorables, Tioxide a, dès sa mise en service, mis en place un système de contrôles écologiques du littoral et physicochimiques de l'eau à proximité du point de rejet.

Cette publication présente les résultats des dosages de métaux que nous effectuons à titre de contrôles dans les moules *(Mytilus Edulis)* et un polychète, appelé communément vers de mer (*Arénicola Marina*).

Le choix de la moule, espèce connue pour sa capacité à concentrer les métaux, est assez évident. De plus, la présence sur le littoral calaisien de substrats naturels comme les épaves et les feux permet de recueillir un nombre important de moules de taille identique.

Le choix d'*Arenicola Marina* est dû à sa présence abondante dans la zone intertidale du littoral calaisien et au fait qu'il est très recherché comme appât par les pêcheurs.

## II. METHODOLOGIE

### 1. Localisation des points de prélèvement

Les 9 points de prélèvement sont reportés sur la Carte I.

Dans le cas des moules, seulement cinq stations possèdent un substrat permettant de fixer cette espèce

Ils se répartissent à l'est et à l'ouest de l'émissaire, les points à l'ouest pouvant, du fait des moments de pompage, être considérés comme des endroits non soumis à l influence de l'effluent.

Les arénicoles ont été prélevées environ une heure avant la marée basse et transportées dans de l'eau de mer prélevée au même endroit afin de minimiser le choc thermique.

### 2. Conditionnement et méthode

Les moules sont laissées 24 heures dans de l'eau de mer prélevée au même endroit, puis la partie molle est soigneusement détachée et séchée à 70°C.

Dans le cas des arénicoles le dégorgement est plus délicat.

Les animaux sont laissés dans de l'eau de mer qui est renouvelée toutes les deux heures durant les 12 premières heures, puis toutes les douze heures pendant deux jours. Malgré ce traitement, il se trouve toujours un peu

TABLEAU II Concentrations en métaux ( *mg/kg par rapport au poids sec* ) dans les parties molles de *Mytilus* collectées dans différentes parties du monde. Les valeurs moyennes et les fourchettes sont données quand elles sont disponibles.

| Lieux. | Référence. | Cd. | Cr. | Cu. | Fe. | Pb. | Zn. | Hg. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calais. (1) | présent travail. | <4. (<4) | <4. (<4) | 7,4 (4,6-13,0). | 320. (132-580) | < 4. (<4-10,4) | 116. (96-150) | 0,23 (0,08-0,43) |
| S.W. Espagne et Portugal. | Stenner & Nickless, 1975. | 2,7 (1,7-3,6) | | 10,9 (8,5-14. ) | | 6,5 ( 2 -15.) | 265. (190-370) | |
| Californie, U.S.A. | Graham, 1972. | 5, (3. 7. ) | 4, (<2 - 8 ) | 7, (5. -11. ) | | 5, ( 2 - 8.) | 284. (204-341) | |
| Nouvelle Zélande. | Brooks & Rumsby, 1965. | <10. (<10.) | 16. ( 9 - 24) | 9. (8. -11 ) | 1960. (860-2640) | 12. ( 3 -35.) | 91. ( 50-180) | |
| Mer d'Irlande, U.K. | Segar & al.,1971. | 5.1 | 1.5 | 9.8 | 1700. | 9.1 | 91. | |
| Nieuport, Belgique. | Bertine & Goldberg, 1972. | | 1.23 (0.56-2.0) | | 854. (410-1405) | | 40. ( 29- 57) | |
| Hollande. | Bertine & Goldberg, 1972. | | 6.8 | | 839. | | 85. | |
| Côte N.W. de la Mer Méditerranée France. | Fowler & Oregioni, 1976. | 1.9 (0.4-5.9) | 7.5 (0.5-26.8) | 18. (2.4-154) | 443. (148-2220) | 21.5 ( 2.7-117 ) | 209. ( 97-844) | |
| Côte Mer du Nord. France (2). | ICES, 1974. | 0.15 | <3. | 30. | | 2.6 | 99. | 0.28 |

(1) report poids sec / poids humide = 4 utilisé.
(2) report poids sec / poids humide = 5 utilisé.

TABLEAU III. Analyses d'Arénicola marina prélevées sur le littoral calaisien. Les teneurs sont exprimées en mg/kg par rapport au poids sec.

| Station. | Position par rapport à TIOXIDE S.A. | Cu. | Fe. | V. | Pb. | Zn. | Cd. | Cr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 : tuyau Pâtes à Papier. | 0. | 7.2 | 464. | 5.6 | 2.5 | 190. | 0.8 | 1.4 |
| 3 : Épave à l'Ouest de la station 2. | 200 m. à l'ouest. | 7.0 | 418. | 5.7 | 2.0 | 175. | 0.9 | 1.1 |
| 4 : 200 m. Fin - Jetée Est | 2km. à l'ouest. | 6.2 | 548. | 2.5 | 13.6(?) | 147. | 0.4 | 1.75 |
| 5 : Les Hemmes de Marck: 2km. est Fin de Wadde. | 5km. à l'est. | 7.2 | 592. | 3.6 | 0.8 | 192. | 0.8 | 1.0 |
| 6 : Feu de Wadde. | 3.5km. à l'est. | 8.0 | 415. | 3.2 | 1.0 | 165. | 1.1 | 0.55 |
| 7 : 200m. Ouest - Jetée Ouest. | 2.5km. à l'ouest. | 8.1 | 483. | 3.4 | 1.3 | 137. | 0.5 | 0.7 |
| 8 : Sortie Calais. | 3.5km. à l'ouest. | 6.9 | 480. | 5.8 | 0.8 | 207. | 0.8 | 1.6 |
| 9 : Ouest Blériot - Ferme du Pont Trouille. | 5.5km. à l'ouest. | 5.9 | 578. | 1.35 | 1.0 | 125. | 0.6 | 1.6 |
| 10 : Sangatte - " Les Salines ". | 7km. à l'ouest. | 6.4 | 567. | 6.5 | 1.1 | 201. | 1.1 | 1.2 |

DR.FB. 15.11.76.

de sable dans le tube digestif du ver. L'animal est ensuite disséqué, séché à 70° et la poudre conservée dans des flacons de verre ainsi que le sable récupéré durant le dégorgement.

Pour les deux espèces, la mise en solution se fait par attaque à l'acide nitrique.

Les analyses ont été effectuées par spectrométrie d'absorption atomique.

## III. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de ces contrôles sont donnés dans les tableaux I et II dans le cas des moules, dans le tableau III en ce qui concerne les arénicoles. Les résultats sont exprimés en mg/kg (ou ppm) de métal par rapport au poids humide d'organisme

### 1. Résultats sur les moules

Si l'on compare les points soumis à l'influence de l'effluent (points 2 et 6) à ceux non touchés (points 4 et 9) on ne constate pas de réelle différence. Seule la teneur en fer au point 6 peut sembler supérieure, elle reste cependant inférieure à la teneur trouvée à la station 9, la plus éloignée à l'ouest de l'émissaire.

En ce qui concerne les métaux reconnus comme toxiques, le cadmium est inférieur à un ppm, alors que la dose admissible dans les aliments est de 5 ppm (*Livre Blanc*, 1973). De même, dans le cas du mercure, les teneurs obtenues restent très inférieures à la norme internationale, à savoir 0.5 ppm (Aubert, 1975).
une masse humide ou une masse séchée d'organisme Or le rapport poids humide/poids sec est variable et dépend de l'espèce analysée et pour une même espèce de l'organe étudié. C'est ainsi que, dans le cas de la

Afin de replacer nos propres résultats dans une perspective plus large nous les avons comparés (tableau II) à d'autres valeurs publiées (voir notamment S.W. Fowler, 1976) Cette comparaison ne se veut pas exhaustive, elle est de plus rendue malaisée par le fait que certains auteurs expriment leurs résultats en ppm par rapport à moule, Fowler (1976) utilise un rapport poids humide/poids sec égal à 6 alors que nos propres analyses conduisent à une valeur de 4

On peut cependant affirmer, à l'examen du tableau II, que les concentrations en métaux dans les moules prélevées sur le littoral calaisien sont tout à fait comparables à celles mesurées sur des espèces collectées dans diverses parties du monde. Il est remarquable de constater que dans le cas du fer, constituant principal de l'effluent, nous obtenons des valeurs sensiblement inférieures

### 2. Résultats sur *Arenicola Marina*.

Les valeurs citées sont, sauf dans le cas du cadmium et du vanadium, les moyennes de quatre analyses

Ces résultats sont reportés dans le tableau III. Dans l'ensemble, ils ne montrent aucun phénomène d'accumulation, on peut seulement remarquer une forte teneur en plomb à la station 4 qui ne peut être reliée à l'effluent qui ne contient en effet pas de plomb.

Dans le cas du zinc on constate des variations importantes. Or, si l'on porte la teneur en zinc (ppm) en fonction de la masse moyenne d'arénicoles disséquées (gr) on obtient une droite d'équation concentration en zinc = 5.66 (masse disséquée) + 232, qui montre qu'il existe une corrélation linéaire entre la teneur en zinc et la taille de l'animal, ce qui avait déjà été constaté pour divers mollusques (Boyden, 1974).

Signalons enfin que dans le cas de l'analyse du fer nous avons été amenés à déduire de la valeur obtenue sur la matière organique séchée la teneur en fer apportée par les traces de sable encore présentes, cet apport étant dans le cas cet élément non négligeable.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


AUBERT M., 1975. — La problème du mercure en Méditerranée *Rev. Intern. Oceanogr. Méd., 27-28*, 215-231

BERTINE K.K. and GOLDBERG E.D., 1972 — Trace elements in clams, mussels and shrimps, *Limnol Oceanogr.*, 17, 877-884.

BOYDEN C.R., 1974. — Trace element content and body size in molluscs, *Nature*, 251, 311-314

BROOKS R.R. and RUMSBY M.G., 1965. — The biogeochemistry of trace element uptake by some New Zealand bivalves. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 521-527

FOWLER S.W. and OREGIONI B., 1976. — Trace metals in Mussels from the N.W. Mediterranean, *Mar. Pollut. Bull.*, 7, 2, 26-29

GRAHAM D.L., 1972. — Trace metal levels in intertidal molluscs of California, *Veliger*, *14*, 365-372.

International Council for the Exploration of the Sea, 1974. — *Cooperative Research Report*, nº 39, p. 119-120

Livre Blanc sur les rejets industriels de la Société Montedison en Méditerranée, publié par le Ministère de l'Environnement (1973)

SEGAR D.A., COLLINS J.D. and RILEY J.P., 1971. — The distribution of the major and some minor elements in marine animals. Part. I. Molluscs, *J. Mar. biol. Assoc. U.K.*, *51*, 131-136

STENNER R.D and NICKLESS G., 1975. — Heavy metals in organisms of the Atlantic coast of S.W. Spain and Portugal. *Mer. Pollut Bull.*, 6, 89-92

# DÉCLARATION D'INQUIÉTUDE SUR LES EFFETS ACTUELS ET FUTURS DES POLLUTIONS EN MILIEU MARIN

*Motion élaborée et approuvée par les membres du Conseil de la Société française de Malacologie et par le Dr Alain Bombard en conclusion au colloque de Malacologie qui s'est tenu du 13 au 17 septembre 1976 à l'Observatoire de la mer sur l'île des Embiez (Var-France).*

**Les pollutions d'origine industrielle, agricole, domestique et militaire, déversées dans le milieu marin constituent actuellement un très grave danger pour les ressources alimentaires d'origine marine, pour la santé des populations et à long terme pour tout l'équilibre biologique de notre planète.**

**Déjà des étendues d'eau plus ou moins fermées sont devenues abiotiques et inexploitables : le Zuider-Zee, l'étang de Berre. Le golfe de Fos, les étangs languedociens, la lagune de Tunis et d'autres baies sont en voie de subir le même sort.**

**Dans les grands espaces marins et océaniques le mal n'est pas aussi spectaculaire, mais il existe cependant sous l'aspect insidieux de la contamination des organismes marins par divers polluants : métaux, pesticides, hydrocarbures, radioéléments... Les thons et les espadons, concentrant fortement le mercure, sont devenus suspects à la vente (le taux de tolérance de 0,20 mg/kg de mercure fixé par l'O.M.S./F.A.O. est chez ces poissons maintenant très souvent dépassé).**

**Près des côtes la faune et la flore littorales se trouvent souvent contaminées par des polluants chimiques et par des germes pathogènes. L'aquaculture marine, qui se développe le plus souvent dans des baies et des lagunes, se trouve ainsi fortement menacée. Certains secteurs où s'effectuaient et pourraient s'effectuer, des élevages de coquillages, de poissons ou d'algues ont dû être classés « zones insalubres ».**

**La pollution bactérienne fait courir des risques pour la santé des baigneurs et des consommateurs de fruits de mer, avec apparition d'une pathologie des bains de mer, inconnue auparavant : otites, vaginites, balanites, hépatites virales, etc.**

**Enfin, le développement de l'industrie nucléaire présente de redoutables dangers de pollution du fait de l'immersion de déchets atomiques, du fait des rejets chargés de radioéléments émis par les centrales et les usines de retraitement, du fait enfin des retombées des essais nucléaires.**

**La première conséquence de toutes ces pollutions sera de rendre inconsommables tous les produits de la mer à brève échéance. Ainsi l'humanité, toujours en pleine expansion démographique, est en train d'anéantir l'énorme stock alimentaire que lui offrent les océans.**

**A plus long terme l'aggravation des pollutions marines pourrait provoquer le dépérissement du plancton végétal qui constitue le premier maillon de la chaîne alimentaire marine, mais qui joue également un rôle aussi important que la biomasse végétale continentale dans les échanges gazeux de la biosphère.**

**A partir du plancton, ce sont toutes les chaînes alimentaires qui seront affectées, avec en particulier les Mollusques qui nous occupent mais aussi tous les groupements animaux et végétaux des divers écosystèmes.**

**Nous pensons qu'il est encore temps d'empêcher un tel processus, qu'il est encore temps de sauver la mer, de préserver les ressources alimentaires marines, de sauvegarder l'équilibre biologique assuré par les océans. Pour cela, il faut immédiatement, à toutes les échelles, à l'échelle régionale, à**

l'échelle nationale et à l'échelle internationale, mettre en œuvre des moyens techniques, appliquer et faire respecter des lois rigoureuses et, surtout, effectuer un changement radical dans les programmes énergétiques, économiques, industriels et scientifiques.

Techniquement on peut dès à présent supprimer des pollutions. Il faut construire des stations d'épuration au lieu de déverser des eaux usées des villes directement dans la mer ou indirectement par voie fluviale. Techniquement on peut épurer aussi divers rejets industriels. On peut principalement remplacer le « dégazage » des pétroliers en mer (rejet du lest d'eau de mer souillée par les hydrocarbures) par récupération de ces hydrocarbures dans des ports grâce au système « LOT ».

Légalement il faut, au niveau national, appliquer dans toute sa rigueur la loi du 16 décembre 1964 qui interdit « le déversement ou immersion dans les eaux de mer de matières de toute nature, en particulier de déchets industriels et atomiques, susceptibles de porter atteinte à la santé publique ainsi qu'à la faune et la flore sous-marines... ». Au niveau international il faut que des réglementations similaires soient promulguées et appliquées.

Constatant que cet état de fait est dû à une technologie basée sur la consommation, sur le gaspillage et sur des énergies polluantes (pétrochimie, énergie nucléaire), il faudra dans les années qui viennent repenser l'économie et la finalité de notre civilisation : enrichissement ou bonheur. Il faut recycler tous les déchets industriels et domestiques au lieu de rejeter dans les fleuves et les mers. Il faut refaire une « révolution agricole » en abandonnant les techniques polluantes de l'agriculture chimique (désherbants, pesticides, engrais chimiques toxiques) pour une agriculture écologique qui respectera le milieu, les sols et les eaux. Il faut enfin que l'on abandonne le plus vite possible l'industrie nucléaire même « pacifique ». L'énergie nucléaire n'est pas et ne pourra jamais être une énergie propre et sans danger. Tous nos efforts doivent porter au contraire sur la maîtrise d'énergies non polluantes comme l'énergie solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie géothermique, l'énergie biochimique, l'énergie éolienne, l'énergie thermo-magnéto-dynamique...

C'est à ce prix et à ce prix seul que les pollutions, qu'elles soient marines, continentales ou atmosphériques, seront arrêtées, c'est à ce prix seul que l'Humanité évitera sa destruction et poursuivra une route vers un véritable épanouissement de l'Homme. Le problème le plus urgent que pose de nos jours la préservation du milieu marin et de la nature entière, c'est la protection de notre espèce contre elle-même : « l' Homo sapiens doit être protégé contre l'Homo faber ».

---

BIBL. DU MUSEUM 16 PARIS

# DIRECTIVES GENERALES POUR LA REDACTION DES MANUSCRITS EDITES DANS LA REVUE « HALIOTIS »

## I. PREPARATION DES TEXTES

Haliotis a un format 21 x 29,7. La composition est faite en une colonne par double frappe d'une machine ayant la possibilité de justification (IBM Direction par ex.). Justification du texte : 150 x 230 mm.
Haliotis comprend : des figures au trait, des photographies en simili gravure placées dans le texte, des planches photographiques hors texte en simili gravure ou autres procédés au format 160 x 250 mm.

### 1. Dactylographie du manuscrit

Il est recommandé aux auteurs d'Haliotis :

- de bien vouloir dactylographier de façon uniforme ;
- d'espacer les lignes d'au moins deux interlignes ;
- de n'écrire aucun titre en majuscule ;
- de ne souligner que les portions de ligne ou les noms devant venir en italique (éventuellement le souligné remplace l'italique dans Haliotis) ;
- de numéroter les paragraphes avec une graphie simple (un point, un espace), exemples : I, 1., a., éviter les graphies telles que 1.-, 1), 1°, 1 :.

### 2. Correction des épreuves

Les auteurs d'Haliotis recevront une seule épreuve pour correction. Il s'agit d'une épreuve sur « cadres » dans laquelle ils signaleront les erreurs. Les corrections d'auteurs qui modifient la copie seront facturées aux auteurs.

## II. REDACTION DES TEXTES

### 1. Auteurs, noms d'espèces

Le nom de l'auteur de l'article sera accompagné du prénom en toutes lettres. Une note infrapaginale précisera son attache professionnelle et son adresse.

Ex. : Jean-Claude Fischer*
*Institut de Paléontologie, Muséum national d'Histoire naturelle,
8, rue de Buffon, 75005 Paris.

Dans le texte, les auteurs sont signalés par leur nom, et éventuellement l'initiale de leur prénom, écrit en script (et non en capitales), que ce soit une citation ou l'appel à une référence bibliographique. Les noms des auteurs des espèces sont écrits également en script. La transcription des catégories taxonomiques devra suivre les règles internationales de nomenclature zoologique.

### 2. Titres et résumés

Tout article comportera à son début son titre traduit en anglais, suivi d'un résumé (summary) en anglais. Tout article dépassant 2 pages d'Haliotis comportera en outre un résumé dans la langue originelle et placé avant le résumé en anglais.

### 3. Sommaires et tables

Les rapports et les articles dépassant 10 pages d'Haliotis comporteront un sommaire (ou table des matières), placé à la fin. La table des illustrations ne devient nécessaire que si les illustrations sont suffisamment nombreuses.

### 4. Références bibliographiques

Il est préférable de nommer « travaux cités » ou « références bibliographiques » la liste des ouvrages et articles cités dans le texte.

Les publications seront classées par ordre alphabétique. Chaque référence bibliographique sera faite selon les exemples suivants :

MENOT J.-C. et RAT P., 1967.- sur la structure du complexe récifal jurassique de la vallée de l'Yonne, C.R. Acad. Sci., Paris, sér. D, 264 (23), p. 2620-2623, 1 fig.
TERMIER H. et TERMIER G., 1952 - Histoire géologique de la biosphère, Masson édit., Paris, 721 p., 36 cartes, 8 lith., 117 fig.

## III. FIGURES DANS LE TEXTE

Les dessins et cartes doivent être faits sur bristol blanc ou sur calque à l'encre de chine. Ils doivent être prévus pour une réduction finale de 1/2 au maximum (important : la hauteur des lettres et des chiffres ne devra pas être inférieure à 1,5 mm après réduction). Les photographies seront le plus nettes possible, sur papier brillant, et normalement contrastées. Les lettres, chiffres et légendes inclus dans des dessins et photographies seront réalisées avec un procédé autocollant (type « letraset ») ou, à la rigueur, à l'aide d'une machine à écrire à frappe absolument nette.

## IV. PUBLICATION

Les textes non conformes à ces prescriptions seront retournés aux auteurs. L'acceptation définitive des manuscrits est faite par le Comité de rédaction. Il pourra être demandé aux auteurs une contribution financière pour les planches photographiques importantes dont la reproduction est fort coûteuse ou pour les dépassements de pages (la longueur maximale des textes, communications et rapports se trouvant fixée à chaque congrès et colloque).

## V. TIRES-A-PART

Haliotis n'assure pas un nombre de tirés-à-part gratuits. Le prix des tirés est fixé à la page selon les possibilités financières d'impression de la société.

# FONDATION SCIENTIFIQUE RICARD

## Observatoire de la mer

### *Ouvrages publiés*

- **Intérêt écologique de la lagune du Brusc**, par Nardo Vicente. Supplément N° 1 au « Bulletin de l'Observatoire de la mer » N° 1, 1974.
- **Culture expérimentale de mollusques bivalves**. Essais sur *Cardium glaucum*, Bruguière, 1789, par Claude Lucain et Yvan Martin - Supplément N° 2 au " Bulletin N° 1 de l'Observatoire de la mer ", 1974.
- **Effets d'une pollution alimentaire par un organochloré chez la rascasse**, *Scorpaena porcus*, Linné, 1758, par Pierre Escoubet - Supplément n° 3 au " Bulletin N° 1 de l'Observatoire de la mer ", 1974.
- **Contribution à l'étude des cétacés des côtes européennes**, par Jean-Louis Cyrus - Supplément N° 1 au " Bulletin N° 2 de l'Observatoire de la mer ", 1975.
- **Concept du système lysosomal chez les animaux et les végétaux**, par Philippe Coulomb et Nardo Vicente - Supplément N° 2 au " Bulletin N° 2 de l'Observatoire de la mer ", 1975.
- **Les principaux émissaires en Méditerranée**, par Alain Bombard et Nardo Vicente - Supplément N° 3 au " Bulletin N° 2 de l'Observatoire de la mer " (préface de Paul Ricard), 1975.
- **Pour la sauvegarde de la lagune du Brusc**, par Nardo Vicente - Supplément N° 4 au " Bulletin N° 2 de l'Observatoire de la mer ", 1975.
- **Etude des phénomènes neuroendocrines chez** *Spirorbis militaris*, **Claparède, 1870** (Polychète *Serpulidae*) par Annie Goudard-Couadou - Supplément N° 5 au " Bulletin N° 2 de l'Observatoire de la mer ", 1975.
- **La lagune du Brusc et l'aquaculture**, par Nardo Vicente - Supplément N° 6 au " Bulletin N° 2 de l'Observatoire de la mer ", 1975.
- **Golfe de Fos, impact de la pollution**, par P. Benon, F. Blanc, B. Bourgade, L. Charcy, R. Xantin, P. Kerambroun, M. Laveau, J.-C. Romano et D. Sautriot. Supplément N° 1 au " Bulletin de l'Observatoire de la mer ", N° 3, 1976.
- **Rejets en mer**, par Nardo Vicente - **Epuration des eaux**, par Henri Dou. Supplément N° 2 au " Bulletin de l'Observatoire de la mer ", N° 3, 1976.
- **Croissance de mollusques bivalves.** — Etude comparée en milieu lagunaire et en bassin aménagé, par Alain Riva. Supplément N° 3 au " Bulletin de l'Observatoire de la mer ", N° 3, 1976.
- **Etude écologique et taxonomique de bactéries hétérotrophes aérobies**, par Pierre Teuveron. Supplément N° 4 au "Bulletin de l'Observatoire de la mer ", N° 3, 1976.
- **Etude comparée des populations microplanctoniques en bassins fermés et dans la lagune du Brusc** (Var), par Patrick Lelong. Supplément N° 5 au " Bulletin de l'Observatoire de la mer ", N° 3, 1977.
- **Il faut protéger la lagune du Brusc**, par Nardo Vicente. Supplément n° 6 au "Bulletin de l'Observatoire de la mer", n° 3, 1977.
- **Rôle des bactéries dans l'alimentation de larves de mollusques bivalves marins en élevages expérimentaux**, par Blandina Mengus. Supplément n° 7 au "Bulletin de l'Observatoire de la mer", n° 3, 1978.

*Toutes ces publications peuvent être consultées à la bibliothèque de la Fondation Scientifique Ricard (Observatoire de la mer). Certaines d'entre elles sont encore disponibles.*

**Se renseigner :**

*auprès du secrétariat de la Fondation, à l'île des Embiez (Var) - Téléphone : (94) 25.02.49.*

**ou écrire à :**

*M. le Président de la Fondation Scientifique Ricard, 81, boulevard Anatole-de-la-Forge - 13014 Marseille. Tél. : (91) 96.00.45 - 96.12.74.*

3 DEC. 1978